

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日  
Date of Application:

2002年 6月25日

出願番号  
Application Number:

特願2002-184052

[ST.10/C]:

[JP2002-184052]

出願人  
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3019517

【書類名】 特許願

【整理番号】 021017AL

【提出日】 平成14年 6月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08  
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 48

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

前記フリー磁性層は、所定のトラック幅方向寸法を有する第 1 フリー磁性層と、前記第 1 フリー磁性層上に形成され、前記第 1 フリー磁性層より大きなトラック幅方向寸法を有する第 2 フリー磁性層を有するものであり、前記フリー磁性層の磁化方向を一方向にそろえるための第 2 反強磁性層が前記第 2 フリー磁性層の上層に形成されており、また、前記多層膜の両側部には一対の電極層が設けられていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 2】 前記第 1 フリー磁性層と前記第 2 フリー磁性層が一体の強磁性層として形成されている請求項 1 に記載の磁気検出素子。

【請求項 3】 前記第 1 フリー磁性層と前記第 2 フリー磁性層の間に非磁性中間層が形成されている請求項 1 に記載の磁気検出素子。

【請求項 4】 前記非磁性中間層は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Cr、Pt、Au、Cu、Rhのうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成されている請求項 3 に記載の磁気検出素子。

【請求項 5】 前記非磁性中間層が、Cuによって形成されている請求項 4 に記載の磁気検出素子

【請求項 6】 前記第 1 フリー磁性層の前記トラック幅方向寸法が、 $0.18\mu\text{m}$ 以下である請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 7】 前記第 1 フリー磁性層の前記トラック幅方向寸法が、 $0.15\mu\text{m}$ 以下である請求項 6 に記載の磁気検出素子。

【請求項 8】  $[(\text{前記フリー磁性層のトラック幅領域の両側領域での膜厚から前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を引いた値}) / \text{前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚}] \times 100 (\%)$  は、 $-80\%$ 以上で $0\%$ より小さい範囲内である請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域の両側領域での膜厚

は 1 0 Å 以上で 5 0 Å 以下である請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 0】 前記フリー磁性層のトラック幅領域での膜厚は 3 0 Å 以上で 5 0 Å 以下である請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 1】 前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上にも前記第 2 反強磁性層が積層され、前記トラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層の膜厚は、その両側に位置する前記第 2 反強磁性層の両側領域の膜厚よりも薄くなっている請求項 1 ないし 1 0 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 2】 前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上に設けられた前記第 2 反強磁性層は非反強磁性の性質を有し、前記第 2 反強磁性層の前記両側領域は反強磁性の性質を有する請求項 1 1 に記載の磁気検出素子。

【請求項 1 3】 前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上に形成された第 2 反強磁性層の膜厚は 5 0 Å 以下で形成され、または前記フリー磁性層のトラック幅領域上には反強磁性層が設けられていない請求項 1 1 または 1 2 に記載の磁気検出素子。

【請求項 1 4】 前記第 2 反強磁性層の前記両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔は、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下である請求項 1 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 5】 前記第 2 反強磁性層の前記両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔は、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きい請求項 1 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 6】 前記第 2 フリー磁性層の上に前記第 2 反強磁性層が直接積層されている請求項 1 1 ないし 1 5 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 7】 前記第 2 反強磁性層は前記第 2 フリー磁性層上に連続成膜されたものである請求項 1 6 に記載の磁気検出素子。

【請求項 1 8】 前記第 2 フリー磁性層上に、第 3 反強磁性層を介して一対の前記第 2 反強磁性層がトラック幅方向に間隔をあけて形成されている請求項 1 ないし 1 0 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 1 9】 第 3 反強磁性層と前記第 2 反強磁性層の間に非磁性中間層

が積層されている請求項 1 8 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 0】 前記第 3 反強磁性層の中央部は非反強磁性の性質を有し、前記第 3 反強磁性層の両側領域は反強磁性の性質を有する請求項 1 8 または 1 9 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 1】 前記第 3 反強磁性層の膜厚は、5 Å 以上 5 0 Å 以下である請求項 1 8 ないし 2 0 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 2】 前記第 3 反強磁性層は前記第 2 フリー磁性層上に連続成膜されたものである請求項 1 8 ないし 2 1 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 3】 前記第 2 フリー磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて形成されている一对の強磁性層を介して、一对の前記第 2 反強磁性層が、トラック幅方向に間隔をあけて形成されている請求項 1 ないし 1 0 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 4】 前記第 2 反強磁性層は前記強磁性層上に連続成膜されたものである請求項 2 3 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 5】 前記強磁性層の膜厚と前記第 2 フリー磁性層の膜厚の合計膜厚が、前記第 1 フリー磁性層の膜厚と前記第 2 フリー磁性層の膜厚の合計膜厚より小さい請求項 2 3 または 2 4 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 6】 前記第 2 フリー磁性層と前記強磁性層の間に非磁性中間層が積層されている請求項 2 3 ないし 2 5 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 7】 前記非磁性中間層は、R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h、C u のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属で形成されている請求項 1 9、2 0、2 1、2 2、2 6 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 8】 前記非磁性中間層は、C r で形成されている請求項 1 9、2 0、2 1、2 2、2 6 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 2 9】 前記一对の第 2 反強磁性層のトラック幅方向間隔は、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下である請求項 1 8 ないし 2 8 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 3 0】 前記一对の第 2 反強磁性層のトラック幅方向間隔は、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きい請求項 1 8 ないし 2 8 のい

れかに記載の磁気検出素子。

【請求項 3 1】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 基板上に、第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を形成する工程と、

(b) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端部を除去する工程と、

(c) 前記多層膜のトラック幅方向の両側に電極層を形成する工程と、

(d) 前記第 1 フリー磁性層上に、前記第 1 フリー磁性層より大きなトラック幅方向寸法を有する第 2 フリー磁性層を積層する工程と、

(e) 第 2 フリー磁性層の上層に第 2 反強磁性層を形成する工程。

【請求項 3 2】 前記 (a) 工程で、前記第 1 フリー磁性層上に非磁性中間層を積層し、前記 (c) 工程と前記 (d) 工程の間に、前記非磁性中間層を一部または全部除去する工程を有する請求項 3 1 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 3】 前記 (c) 工程で、第 2 フリー磁性層を形成後、連続して前記第 2 反強磁性層を成膜し、さらに、前記 (e) 工程の代わりに、

(f) 前記フリー磁性層のトラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層を除去して、前記トラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層の膜厚を、その両側に位置する前記第 2 反強磁性層の膜厚よりも薄くする工程を有する請求項 3 1 または 3 2 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 4】 前記 (f) 工程によって、前記トラック幅領域上に設けられた前記第 2 反強磁性層の中央部は非反強磁性の性質を有し、前記中央部の両側領域の前記第 2 反強磁性層は反強磁性の性質を有するようにする請求項 3 3 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 5】 前記 (f) 工程において、前記第 2 反強磁性層の中央部の膜厚を 5 0 Å 以下にする請求項 3 3 または 3 4 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 6】 前記 (f) 工程において、前記第 2 反強磁性層の両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下にする請求項 3 3 ないし 3 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方

法。

【請求項 3 7】 前記（f）工程において、前記第 2 反強磁性層の両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくする請求項 3 3 ないし 3 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 8】 前記（d）工程と前記（e）工程の間に、  
（g）前記第 2 フリー磁性層上に、第 3 反強磁性層を連続して成膜する工程を有し、  
前記（e）工程の代わりに、  
（h）前記第 3 反強磁性層上に、一对の前記第 2 反強磁性層をトラック幅方向に間隔をあけて形成する工程を有する請求項 3 1 または 3 2 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 9】 前記（g）工程において、前記第 3 反強磁性層を非反強磁性の性質を有する膜厚で形成する請求項 3 8 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 0】 前記（g）工程において、前記第 3 反強磁性層の膜厚を 5 Å 以上 5 0 Å 以下にする請求項 3 8 または 3 9 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 1】 前記（g）工程の後に、  
（i）前記第 3 反強磁性層上に非磁性中間層を積層する工程を有し、  
（j）前記非磁性中間層の一部または全部を除去した後、前記（h）工程において前記第 2 反強磁性層を積層する請求項 3 8 ないし 4 0 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 2】 前記（e）工程の代わりに、  
（k）前記第 2 フリー磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて一对の強磁性層を形成し、前記一对の強磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて一对の前記第 2 反強磁性層を連続して成膜する工程を有する請求項 3 1 または 3 2 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 3】 前記（k）工程において、前記強磁性層の膜厚と前記第 2 フリー磁性層の膜厚の合計膜厚が、前記第 1 フリー磁性層の膜厚と前記第 2 フリー



一磁性層の膜厚の合計膜厚より小さくなるようにする請求項 4 2 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 4】 前記 (k) 工程において、前記第 2 フリー磁性層上に、非磁性中間層を積層し、前記非磁性中間層を一部または全部を除去した後、前記強磁性層を積層する請求項 4 2 または 4 3 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 5】 前記 (i) 工程または前記 (k) 工程において、前記非磁性中間層を、R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h、C u のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属で形成する請求項 4 1 または 4 4 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 6】 前記 (i) 工程または前記 (k) 工程において、前記非磁性中間層を、C r で形成する請求項 4 1 または 4 4 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 7】 前記 (h) または前記 (k) 工程において、前記一对の第 2 反強磁性層のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下にする請求項 3 8 ないし 4 6 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4 8】 前記 (h) または前記 (k) 工程において、前記一对の第 2 反強磁性層のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくする請求項 3 8 ないし 4 6 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は主に、ハードディスク装置や磁気センサなどに用いられる磁気検出素子及びその製造方法に係り、特に耐熱性、耐静電気破壊特性に優れた磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

図 1 5 は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断

面図である。

#### 【0003】

図示しない基板の上に第1反強磁性層1、固定磁性層2、非磁性材料層3及びフリー磁性層4からなる多層膜5が形成されている。フリー磁性層4の上にはトラック幅方向に間隔をあけて、一对の強磁性層6、6及び一对の第2反強磁性層7、7が積層されている。第2反強磁性層7、7の上には電極層8、8が形成されている。

#### 【0004】

固定磁性層2の磁化は第1反強磁性層1との間で発生する交換結合磁界によって図示Y方向に固定される。一方、フリー磁性層4の磁化は、第2反強磁性層7、7と強磁性層6、6の間で発生する交換結合磁界によって図示X方向に揃えられる。

#### 【0005】

図15に示されるような、第2反強磁性層7、7との間の交換結合磁界によって、フリー磁性層4の磁化制御を行う方式を、エクスチェンジバイアス方式という。

#### 【0006】

図15に示す磁気検出素子のトラック幅寸法 $T_w$ は、第2反強磁性層7、7のトラック幅方向（図示X方向）間隔によって規制される。

#### 【0007】

第2反強磁性層7、7に重なるフリー磁性層4の両側領域C、Cの磁化は、外部磁界が印加されても磁化方向が変動しないように、トラック幅方向（図示X方向）に強固に固定されている。一方、第2反強磁性層7、7に挟まれた、フリー磁性層の中央部（感度領域）Dの磁化は、両側領域C、Cの磁化にならってトラック幅方向にそろえられているが、外部磁界が印加されたときに磁化方向が変動するように調節されている。

#### 【0008】

#### 【発明が解決しようとする課題】

エクスチェンジバイアス方式の磁気検出素子は、トラック幅寸法 $T_w$ の寸法を

小さくしたときにも、フリー磁性層 4 の磁化制御を適切に行うことができ、今後の高記録密度化に対応した磁気検出素子の主流になるものと考えられている。

## 【 0 0 0 9 】

しかしながら、図 1 5 に示される磁気検出素子には、次のような問題が生じていた。

## 【 0 0 1 0 】

図 1 5 に示される磁気検出素子のフリー磁性層 4 の両側領域 C、C 上には、強磁性層 6、6 が積層されており、両側領域 C、C では、フリー磁性層 4 と強磁性層 6、6 の合計の膜厚  $T_t$  が、フリー磁性層 4 のみからなる中央部 D の膜厚  $T_f$  より厚くなっている。

## 【 0 0 1 1 】

従って、強磁性層 6、6 から発生する静磁界 E 及びフリー磁性層 4 の両側領域 C、C から発生する静磁界が中央部 D に入り込み、中央部 D の磁化、特に両側領域 C、C に隣接した領域の磁化を固定する。

## 【 0 0 1 2 】

その結果、中央部 D に外部磁界に対して磁化変動しにくい不感領域が発生し、しかもフリー磁性層のトラック幅領域を  $0.18 \mu m$  以下にするような狭トラック化に伴ってこの不感領域のトラック幅寸法に対する比率が大きくなるから再生感度が低下する。

## 【 0 0 1 3 】

また、図 1 6 に示されるようなフリー磁性層 4 の両側領域 C、C 上に直接第 2 反強磁性層 7、7 が積層される磁気検出素子でも、フリー磁性層 4 の両側領域 C、C から発生する静磁界が中央部 D に入り込み、中央部 D の磁化を固定するという現象が起こり、中央部 D に不感領域が発生するという問題は生じる。

## 【 0 0 1 4 】

ここで、特開平 1 0 - 1 2 4 8 2 3 号公報の図 8 には、磁化フリー層（フリー磁性層）の両端部外側部（両側領域）の膜厚を磁界検出部（中央部）の膜厚より薄くした磁気抵抗効果素子（磁気検出素子）が記載されている。この構造は、磁化フリー層の両端部外側部から発生し磁界検出部に入り込む静磁界を減少させる

ことができるものと考えられる。

【 0 0 1 5 】

ここで、特開平 1 0 - 1 2 4 8 2 3 号公報の図 8 に記載の磁気検出素子は、明細書の段落 ( 0 0 6 7 ) の記載から明らかなように磁化フリー層の両端部外側部をエッチングによって削ることによって薄くし、その上に例えば反強磁性材料からなるバイアス磁界付与膜を積層するものである。

【 0 0 1 6 】

ところが、強磁性材料からなる磁化フリー層をエッチングした面上に反強磁性材料からなる膜を積層しても、十分な交換結合磁界を発生させることができない。すなわち、特開平 1 0 - 1 2 4 8 2 3 号公報の図 8 に記載の磁気抵抗効果素子では、磁界検出部以外の両端部外側部でも磁界を検出してしまうサイドリーディングの問題が大きくなってしまふのである。

【 0 0 1 7 】

本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、エクスチェンジバイアス方式の磁気検出素子及びその製造方法において、フリー磁性層の中央部に生じる不感領域を低減すると同時に、サイドリーディングの増加を抑えることのできる磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とするものである。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子は、下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

前記フリー磁性層は、所定のトラック幅方向寸法を有する第 1 フリー磁性層と、前記第 1 フリー磁性層上に形成され、前記第 1 フリー磁性層より大きなトラック幅方向寸法を有する第 2 フリー磁性層を有するものであり、前記フリー磁性層の磁化方向を一方向にそろえるための前記第 2 反強磁性層が前記第 2 フリー磁性層の上層に形成されており、また、前記多層膜の両側部には一対の電極層が設けられていることを特徴とするものである。

【 0 0 1 9 】

ここで、トラック幅寸法とは、外部磁界によって磁化方向が変動するフリー磁

性層の領域のトラック幅方向寸法、または前記一对の電極層間を流れる直流電流の最短経路距離のうち小さい方である。また、外部磁界によって磁化方向が変動するフリー磁性層の領域、または前記一对の電極層間を流れる直流電流の最短経路に重なるフリー磁性層の領域、のうち小さい方をトラック幅領域という。

#### 【 0 0 2 0 】

前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を薄くすると、磁気検出素子の磁界検出感度が向上する。しかし、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚は少なくとも  $30 \text{ \AA}$  以上ないと再生波形の不安定性を招いたり、熱揺らぎに起因するノイズが生じやすくなる。

#### 【 0 0 2 1 】

一方、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域（両側領域）の膜厚は薄い方が、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界が大きくなり、サイドリーディングを減少させることができる。

#### 【 0 0 2 2 】

本発明では、上記の構成をとることにより、前記フリー磁性層のトラック幅領域は、前記第 1 フリー磁性層及び前記第 2 フリー磁性層が重ねられた構造となる。また、前記第 2 反強磁性層の下層には、第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層のうち、第 2 フリー磁性層のみが積層されている領域が形成される。

#### 【 0 0 2 3 】

すなわち、本発明では、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域に、その膜厚がトラック幅領域の膜厚より薄くなる領域が存在することになる。

#### 【 0 0 2 4 】

従って、本発明では、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を維持したまま、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域（両側領域）の膜厚を薄くして、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることができる。

#### 【 0 0 2 5 】

また、前記フリー磁性層の両側領域の膜厚を薄くすることにより、前記両側領域で発生する静磁界を減少させることができる。

## 【 0 0 2 6 】

ここで、前記フリー磁性層の両側領域の膜厚が、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚より薄いということは、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚が前記フリー磁性層の両側領域の膜厚より厚いということである。従って、本発明では、前記フリー磁性層の両側領域で発生する静磁界に由来する前記フリー磁性層のトラック幅領域内の磁束密度を減少させることができ、前記トラック幅領域に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。ここで、前記フリー磁性層の不感領域とは、外部磁界を印加しても磁化が変動しにくい領域のことである。

## 【 0 0 2 7 】

また、本発明のように、前記第 1 フリー磁性層の上に前記第 2 フリー磁性層を積層する構造であると、前記第 2 フリー磁性層、または前記第 2 フリー磁性層の上に積層された強磁性層と、その上に積層される反強磁性層を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

## 【 0 0 2 8 】

本発明では、前記第 1 フリー磁性層と前記第 2 フリー磁性層が一体の強磁性層として形成されるようにできる。

## 【 0 0 2 9 】

また、前記第 1 フリー磁性層と前記第 2 フリー磁性層の間に非磁性中間層が形成されていてもよい。この非磁性中間層は、Ru、Re、Pd、Os、Cr、Ir、Pt、Au、Cu、Rhのうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成されることが好ましく、特に、Cuによって形成されることがより好ましい。

## 【 0 0 3 0 】

なお、本発明は、前記第 1 フリー磁性層の前記トラック幅方向寸法が、 $0.18\mu\text{m}$ 以下であるときに特に有効である。本発明の構造を有する前記フリー磁性層は、前記トラック幅方向寸法が $0.18\mu\text{m}$ より大きくなるとトラック幅領域中央部での縦バイアス磁界が弱くなりすぎて、再生波形の不安定性を引き起こす。

## 【 0 0 3 1 】

なお、より好ましくは、前記第 1 フリー磁性層の前記トラック幅方向寸法が、 $0.15\ \mu\text{m}$ 以下であることである。

## 【 0 0 3 2 】

また、 $[(\text{前記フリー磁性層のトラック幅領域の両側領域での膜厚から前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を引いた値}) / \text{前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚}] \times 100 (\%)$  は、 $-80\%$ 以上で $0\%$ より小さい範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 3 3 】

さらに、前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域の両側領域での膜厚が $10\ \text{\AA}$ 以上 $50\ \text{\AA}$ 以下であること、また前記フリー磁性層のトラック幅領域での膜厚が $30\ \text{\AA}$ 以上で $50\ \text{\AA}$ 以下であることが好ましい。

## 【 0 0 3 4 】

本発明は例えば、前記第 2 フリー磁性層の上に前記第 2 反強磁性層が直接積層されるときには、前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上にも前記第 2 反強磁性層が積層され、前記トラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層の膜厚は、その両側に位置する前記第 2 反強磁性層の両側領域の膜厚よりも薄くなっているものである。

## 【 0 0 3 5 】

さらに、前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上に設けられた前記第 2 反強磁性層は非反強磁性の性質を有し、前記第 2 反強磁性層の両側領域は反強磁性の性質を有することがより好ましい。

## 【 0 0 3 6 】

これによって前記フリー磁性層のトラック幅領域と前記第 2 反強磁性層間では交換結合磁界が発生せず、前記フリー磁性層のトラック幅領域の磁化がトラック幅方向に強固に固定されることが無い。一方、前記第 2 反強磁性層の両側領域は、反強磁性の性質を有しているため、磁場中アニールによって前記第 2 反強磁性層の両側領域は規則化変態し、前記第 2 反強磁性層の両側領域とフリー磁性層の両側領域間で適切な大きさの交換結合磁界が発生し、これによって、前記フリー

磁性層の両側領域はトラック幅方向に強固に固定された状態になる。

【 0 0 3 7 】

前記第 2 フリー磁性層のトラック幅領域上に形成された第 2 反強磁性層の膜厚は 5 0 Å 以下で形成され、または前記フリー磁性層のトラック幅領域上には反強磁性層が設けられていないことが好ましい。

【 0 0 3 8 】

前記フリー磁性層のトラック幅領域上に形成される第 2 反強磁性層が 5 0 Å 以下の膜厚であれば、前記第 2 反強磁性層とフリー磁性層のトラック幅領域間で交換結合磁界は発生しないか、発生してもその値は小さい。

【 0 0 3 9 】

また、前記第 2 反強磁性層の前記両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔は、例えば、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下である。

【 0 0 4 0 】

この構成は、前記第 2 反強磁性層を前記第 1 フリー磁性層の両側領域にも重ねることができ、サイドリーディングを減少させるのに適した構成である。

【 0 0 4 1 】

あるいは、前記第 2 反強磁性層の前記両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔が、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくなっていてもよい。

【 0 0 4 2 】

この構成は、前記第 2 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層間に生じる交換結合磁界によって、前記フリー磁性層のトラック幅領域に不感領域が形成されることを抑制するために適した構成である。このとき、前記多層膜の両側に形成される一対の電極層のトラック幅方向間隔で、トラック幅寸法が規定されることが好ましい。

【 0 0 4 3 】

なお、前記第 2 フリー磁性層の上に前記第 2 反強磁性層が直接積層されているものであることが好ましく、このとき、前記第 2 反強磁性層を前記第 2 フリー磁性層上に連続成膜されたものにできる。



## 【 0 0 4 4 】

あるいは、本発明の磁気検出素子は、前記第 2 フリー磁性層上に、第 3 反強磁性層を介して一对の前記第 2 反強磁性層がトラック幅方向に間隔をあけて形成されているものである。

## 【 0 0 4 5 】

本発明では、上記のようにフリー磁性層上に前記第 3 反強磁性層を設け、この第 3 反強磁性層の両側領域上に前記第 2 反強磁性層を設けている。従って前記フリー磁性層の両側領域上では、前記第 2 反強磁性層と前記第 3 反強磁性層とを合わせた膜厚の厚い反強磁性層が形成されており、この反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって前記フリー磁性層の両側領域は、適切にトラック幅方向に固定された状態になっている。一方、前記フリー磁性層のトラック幅領域は、外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化されている。

## 【 0 0 4 6 】

なお、本発明では、第 3 反強磁性層と前記第 2 反強磁性層の間に非磁性中間層が積層されていてもよい。

## 【 0 0 4 7 】

前記非磁性中間層は、前記第 3 反強磁性層を大気暴露による酸化から防止するためのものである。

## 【 0 0 4 8 】

また本発明では、前記第 3 反強磁性層の中央部は非反強磁性の性質を有し、前記第 3 反強磁性層の両側領域は反強磁性の性質を有することが好ましい。

## 【 0 0 4 9 】

前記第 3 反強磁性層の中央部が非反強磁性の性質を有していると、磁場中アニールによっても前記第 3 反強磁性層の中央部は規則変態しづらく、よって前記第 3 反強磁性層の中央部と前記フリー磁性層のトラック幅領域間で交換結合磁界は発生せず、前記フリー磁性層のトラック幅領域の磁化がトラック幅方向に強固に固定されるといったことがない。一方、前記第 3 反強磁性層の両側領域は、その上に形成される前記第 2 反強磁性層と合わせて一体の反強磁性層のようになり、磁場中アニールによって規則化変態しやすく、したがって、前記第 3 反強磁性層

の両側領域とフリー磁性層の両側領域間では交換結合磁界が発生し、前記フリー磁性層の両側領域をトラック幅方向に強固に固定することが可能になっている。

【 0 0 5 0 】

なお本発明では、前記第 3 反強磁性層の膜厚は 5 Å 以上で 5 0 Å 以下であることが好ましい。

【 0 0 5 1 】

また、本発明では、前記第 3 反強磁性層を、前記第 2 フリー磁性層上に連続成膜したものにできる。

【 0 0 5 2 】

あるいは、本発明の磁気検出素子は、前記第 2 フリー磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて形成されている一対の強磁性層を介して、一対の前記第 2 反強磁性層がトラック幅方向に間隔をあけて形成されているものである。

【 0 0 5 3 】

本発明では、前記第 2 反強磁性層を、前記強磁性層上に連続成膜したものにできる。

【 0 0 5 4 】

なお、前記フリー磁性層のトラック幅領域に、両側領域から入り込む静磁界を抑制し、また、前記第 2 反強磁性層と前記強磁性層間に発生する交換結合磁界を大きくするためには、前記強磁性層の膜厚と前記第 2 フリー磁性層の膜厚の合計膜厚が、前記第 1 フリー磁性層の膜厚と前記第 2 フリー磁性層の膜厚の合計膜厚より小さいことが好ましい。

【 0 0 5 5 】

また、前記第 2 フリー磁性層と前記強磁性層の間に非磁性中間層が積層されていてよい。

【 0 0 5 6 】

前記非磁性中間層は、前記第 2 フリー磁性層を大気暴露による酸化から防止するためのものである。

【 0 0 5 7 】

本発明では、前記非磁性中間層は、例えば、Ru、Re、Pd、Os、Ir、

P t、A u、R h、C uのいずれか1種または2種以上からなる貴金属、またはC rで形成される。

【0058】

これらの材料は、酸化されにくい材質、あるいは酸化が膜厚方向に進行しにくい材質であり、非磁性中間層の膜厚が薄くても十分な酸化防止効果を発揮する。したがって、磁気検出素子の製造過程で、前記非磁性中間層の表面に酸化層が形成されても、低エネルギーのイオンミリングで前記酸化層を除去でき、前記非磁性中間層の下層にある前記第3反強磁性層の反強磁性特性や前記第2フリー磁性層の強磁性特性の劣化を防ぐことができる。

【0059】

また、前記第3反強磁性層上または前記強磁性層上に形成される前記一对の第2反強磁性層のトラック幅方向間隔は、例えば、前記第1フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下である。

【0060】

この構成は、前記第2反強磁性層を前記第1フリー磁性層の両側領域にも重ねることができ、サイドリーディングを減少させるのに適した構成である。

【0061】

あるいは、前記一对の第2反強磁性層のトラック幅方向間隔が、前記第1フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくてもよい。

【0062】

この構成は、前記第2反強磁性層と前記第2フリー磁性層間に生じる交換結合磁界によって、前記フリー磁性層のトラック幅領域に不感領域が形成されることを抑制するために適した構成である。このとき、前記多層膜の両側に形成される一对の電極層のトラック幅方向間隔で、トラック幅寸法が規定されることが好ましい。

【0063】

本発明の磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 基板上に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、第1フリー磁性

層の順に積層された多層膜を形成する工程と、

(b) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端部を除去する工程と、

(c) 前記多層膜のトラック幅方向の両側に電極層を形成する工程と、

(d) 前記第 1 フリー磁性層上に、前記第 1 フリー磁性層より大きなトラック幅方向寸法を有する第 2 フリー磁性層を積層する工程と、

(e) 第 2 フリー磁性層の上層に第 2 反強磁性層を形成する工程。

【 0 0 6 4 】

上記の製造方法を用いることにより、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域に、その膜厚がトラック幅領域の膜厚より薄くなる領域が存在する磁気検出素子を製造できる。

【 0 0 6 5 】

すなわち、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を維持したまま、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域（両側領域）の膜厚を薄くして、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることのできる磁気検出素子を製造できる。

【 0 0 6 6 】

また、本発明を用いて形成された磁気検出素子は、前記フリー磁性層の両側領域で発生する静磁界を減少させることができる。さらに、前記静磁界に由来する前記フリー磁性層のトラック幅領域内の磁束密度を減少させることができ、前記トラック幅領域に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

【 0 0 6 7 】

また、前記 (a) 工程で、前記第 1 フリー磁性層上に非磁性中間層を積層し、前記 (c) 工程と前記 (d) 工程の間に、前記非磁性中間層を一部または全部除去する工程を有すると、前記第 1 フリー磁性層が酸化することを防止できるので好ましい。

【 0 0 6 8 】

また、本発明の磁気検出素子の製造方法では、前記 (d) 工程で、第 2 フリー磁性層を形成後、連続して前記第 2 反強磁性層を成膜し、さらに、前記 (e) 工

程の代わりに、

(f) 前記フリー磁性層のトラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層を除去して、前記トラック幅領域上の前記第 2 反強磁性層の膜厚を、その両側に位置する前記第 2 反強磁性層の膜厚よりも薄くする工程を有することができる。

【 0 0 6 9 】

本発明では、前記第 2 フリー磁性層の上に積層される第 2 反強磁性層を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

【 0 0 7 0 】

また、前記 (f) 工程によって、前記トラック幅領域上に設けられた前記第 2 反強磁性層の中央部は非反強磁性の性質を有し、前記中央部の両側領域の前記第 2 反強磁性層は反強磁性の性質を有するようにすることが好ましい。具体的には、前記 (f) 工程において、第 2 反強磁性層の中央部の膜厚を 5 0 Å 以下にすることが好ましい。

【 0 0 7 1 】

なお、前記 (f) 工程において、前記第 2 反強磁性層の両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下にすると、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

【 0 0 7 2 】

あるいは、前記 (f) 工程において、前記第 2 反強磁性層の両側領域の内側端面間のトラック幅方向間隔を、前記第 1 フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくすると、磁界検出感度（再生出力）を向上させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

【 0 0 7 3 】

本発明の磁気検出素子の製造方法では、前記 (d) 工程と前記 (e) 工程の間に、

(g) 前記第 2 フリー磁性層上に、第 3 反強磁性層を連続して成膜する工程を有し、

前記 (e) 工程の代わりに、

(h) 前記第 3 反強磁性層上に、一対の前記第 2 反強磁性層をトラック幅方向に間隔をあけて形成する工程を有することができる。

【 0 0 7 4 】

本発明では、前記第 2 フリー磁性層の上に積層される第 3 反強磁性層を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

【 0 0 7 5 】

また、前記 (g) 工程において、前記第 3 反強磁性層を非反強磁性の性質を有する膜厚で形成することが好ましい。これによって、前記第 2 反強磁性層の形成後、前記第 3 反強磁性層の中央部と前記フリー磁性層のトラック幅領域間で交換結合磁界は発生せず、または発生したとしても弱くできる。一方、前記第 3 反強磁性層の両側領域とフリー磁性層の両側領域間では交換結合磁界が発生し、前記フリー磁性層の両側領域をトラック幅方向に強固に固定することができるようになる。

【 0 0 7 6 】

具体的には、前記 (g) 工程において、前記第 3 反強磁性層の膜厚を 5 Å 以上 50 Å 以下にすることが好ましい。

【 0 0 7 7 】

なお、前記 (g) 工程の後で、

(i) 前記第 3 反強磁性層上に非磁性中間層を積層する工程を有し、

(j) 前記非磁性中間層の一部または全部を除去した後、前記 (h) 工程において前記第 2 反強磁性層を積層すると、第 3 反強磁性層の酸化を防止できるので好ましい。

【 0 0 7 8 】

あるいは、本発明の磁気検出素子の製造方法では、前記 (e) 工程の代わりに、

(k) 前記第 2 フリー磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて一対の強磁性層を形成し、前記一対の強磁性層上に、トラック幅方向に間隔をあけて一対の前記第 2 反強磁性層を連続して成膜する工程を有することができる。

## 【 0 0 7 9 】

本発明では、前記強磁性層の上に積層される第2反強磁性層を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

## 【 0 0 8 0 】

なお、前記(k)工程において、前記強磁性層の膜厚と前記第2フリー磁性層の膜厚の合計膜厚が、前記第1フリー磁性層の膜厚と前記第2フリー磁性層の膜厚の合計膜厚より小さくなるようにすることが好ましい。

## 【 0 0 8 1 】

また、前記(k)工程において、前記第2フリー磁性層上に、非磁性中間層を積層し、前記非磁性中間層を一部または全部を除去した後、前記強磁性層を積層すると、前記第2フリー磁性層の酸化を防止できるので好ましい。

## 【 0 0 8 2 】

本発明では、前記(i)工程または前記(k)工程において、前記非磁性中間層を、例えば、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cuのいずれか1種または2種以上からなる貴金属、またはCrで形成することが好ましい。

## 【 0 0 8 3 】

これらの材料は、酸化されにくい材質、あるいは酸化が膜厚方向に進行しにくい材質であり、非磁性中間層の膜厚が薄くても十分な酸化防止効果を発揮する。したがって、磁気検出素子の製造過程で、前記非磁性中間層の表面に酸化層が形成されても、低エネルギーのイオンミリングで前記酸化層を除去でき、前記非磁性中間層の下層にある前記第3反強磁性層の反強磁性特性や前記第2フリー磁性層の強磁性特性の劣化を防ぐことができる。

## 【 0 0 8 4 】

前記(h)または前記(k)工程において、前記一対の第2反強磁性層のトラック幅方向間隔を、前記第1フリー磁性層のトラック幅方向寸法以下にすると、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

## 【 0 0 8 5 】

また、前記（h）または前記（k）工程において、前記一对の第2反強磁性層のトラック幅方向間隔を、前記第1フリー磁性層のトラック幅方向寸法より大きくすると、

磁界検出感度（再生出力）を向上させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

【0086】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明における第1の実施の形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0087】

図1に示す符号20及び37はギャップ層である。このギャップ層20、37の間に本発明の磁気検出素子が形成されている。ギャップ層20、37の上下には磁性材料からなるシールド層（図示しない）が設けられており、磁気検出素子、ギャップ層及びシールド層を合わせてMRヘッドと呼んでいる。

【0088】

MRヘッドは、記録媒体に記録された外部信号を再生するためのものである。また本発明では、MRヘッドの上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。磁気検出素子の上部に形成されたシールド層（上部シールド層）は、インダクティブヘッドの下部コア層として兼用されていてもよい。

【0089】

またMRヘッドは、例えばアルミナ-チタンカーバイト（ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ ）で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【0090】

なお、記録媒体との対向面は、例えば磁気検出素子の構成する薄膜の膜面に垂直で且つ磁気検出素子のフリー磁性層の外部磁界が印加されていないときの磁化方向と平行な平面である。図1では、記録媒体との対向面はX-Z平面に平行な平面である。

【0091】



なお、磁気検出素子が浮上式の磁気ヘッドに用いられる場合、記録媒体との対向面とは、いわゆる A B S 面のことである。

【 0 0 9 2 】

図 1 に示すように、ギャップ層 2 0 上には、下地層 2 1 が形成され、下地層 2 1 の上にはシードレイヤ 2 2 が形成される。

【 0 0 9 3 】

下地層 2 1 は、T a , H f , N b , Z r , T i , M o , W のうち少なくとも 1 種以上の元素で形成されることが好ましい。またシードレイヤ 2 2 は、N i F e C r 合金や C r など形成される。シードレイヤ 2 2 が形成されることで、その上に形成される各層の結晶粒径が大きくなり抵抗変化率の向上などを図ることが可能になる。

【 0 0 9 4 】

シードレイヤ 2 2 の上には第 1 反強磁性層 2 3 が形成されている。第 1 反強磁性層 2 3 は、元素 X (ただし X は、P t , P d , I r , R h , R u , O s のうち 1 種または 2 種以上の元素である) と M n とを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。例えば P t M n 合金などで形成される。

【 0 0 9 5 】

あるいは本発明では、第 1 反強磁性層 2 3 は、X - M n - X ' 合金 (ただし元素 X ' は、N e , A r , K r , X e , B e , B , C , N , M g , A l , S i , P , T i , V , C r , F e , C o , N i , C u , Z n , G a , G e , Z r , N b , M o , A g , C d , I r , S n , H f , T a , W , R e , A u , P b 、及び希土類元素のうち 1 種または 2 種以上の元素である) で形成されてもよい。

【 0 0 9 6 】

なお元素 X あるいは元素 X + X ' の組成比は、4 5 ( a t % ) 以上 6 0 ( a t % ) 以下であることが好ましい。

【 0 0 9 7 】

第 1 反強磁性層 2 3 の上には固定磁性層 2 7 が形成されている。この実施形態では固定磁性層 2 7 は積層フェリ構造で形成されている。

【 0 0 9 8 】

図 1 に示すように、固定磁性層 2 7 は下から磁性層 2 4、非磁性中間層 2 5 及び磁性層 2 6 の順に積層形成されている。ここで磁性層 2 4、2 6 は、例えば CoFe 合金、CoFeNi 合金、Co、NiFe 合金などの磁性材料で形成される。また非磁性中間層 2 5 は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu などの非磁性導電材料で形成されることが好ましい。

#### 【0099】

図 1 に示す固定磁性層 2 7 では、磁性層 2 4 は第 1 反強磁性層 2 3 との間で発生する交換結合磁界によって例えば図示 Y 方向に固定される。一方、磁性層 2 6 は磁性層 2 4 との間で発生する RKKY 相互作用における結合磁界によって図示 Y 方向とは逆の方向に磁化される。

#### 【0100】

すなわち積層フェリ構造では、磁性層 2 4 と磁性層 2 6 とが互いに反平行状態に磁化されるのである。なお積層フェリ構造を構成するためには、磁性層 2 4 と磁性層 2 6 の単位面積当たりの磁気モーメント（飽和磁化  $M_s \times$  膜厚  $t$ ）が異なるようにしなければならない。例えば磁性層 2 4 と磁性層 2 6 が同じ材質で形成されるときは、磁性層 2 4 と磁性層 2 6 の膜厚を異ならせて形成する。

#### 【0101】

磁性層 2 4 及び磁性層 2 6 は、それぞれ 10～70 Å で形成される。また非磁性中間層 2 5 の膜厚は 3 Å～10 Å で形成される。

#### 【0102】

なお固定磁性層 2 7 は上記したいずれかの磁性材料を使用した 1 層構造あるいは上記したいずれかの磁性材料からなる層と Co 層などの拡散防止層の 2 層構造で形成されていても良い。

#### 【0103】

固定磁性層 2 7 上には、非磁性材料層 2 8 が形成されている。

非磁性材料層 2 8 は、固定磁性層 2 7 とフリー磁性層との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Ag など導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特に Cu によって形成されることが好ましい。

## 【 0 1 0 4 】

非磁性材料層 2 8 は例えば 1 8 ～ 3 0 Å 程度の膜厚で形成される。

非磁性材料層 2 8 の上には、フリー磁性層 3 1 が積層されている。

## 【 0 1 0 5 】

フリー磁性層 3 1 は、トラック幅方向（図示 X 方向）寸法 W 1 を有する第 1 フリー磁性層 2 9 上に、第 1 フリー磁性層 2 9 より大きなトラック幅方向寸法 W 2 を有する第 2 フリー磁性層 3 0 が積層されたものである。

## 【 0 1 0 6 】

第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 は、例えば Ni Fe 合金、Co、Co Fe Ni 合金、Co Fe 合金、Co Ni 合金などにより形成されるものであり、特に Ni Fe 合金または Co Fe 合金、Co Fe Ni 合金により形成されることが好ましい。また、第 1 フリー磁性層 2 9 は、2 層構造で形成され、非磁性材料層と対向する側に Co 膜や Co Fe 合金が形成されていることが好ましい。これにより非磁性材料層との界面での金属元素等の拡散を防止でき、抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) を大きくすることができる。

## 【 0 1 0 7 】

第 1 フリー磁性層 2 9 及び第 2 フリー磁性層 3 0 は、それぞれ 1 0 ～ 6 0 Å 程度で形成される。なお、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 を合わせた合計膜厚は 7 0 Å 以下であることが好ましい。

## 【 0 1 0 8 】

第 1 フリー磁性層 2 9 は、側端面 2 9 a が第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8 の側端面と連続面となっている。

## 【 0 1 0 9 】

第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、及びフリー磁性層 3 1 が多層膜 3 2 を構成している。

## 【 0 1 1 0 】

第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、及び第 1 フリー磁性層 2 9 の両側面に接して第 1 電極層 3 3、3 3 が形成されている。第 1 電極層は、多層膜 3 2 に直流電流を供給するためのものであり、例えば  $\alpha$ -Ta、Au

、Cr、Cu（銅）、Rh、Ir、RuやW（タングステン）によって形成される。

#### 【0111】

第1電極層33，33から供給された直流電流は、多層膜32を構成する各層の膜面に平行な方向を流れる。このような、磁気検出素子をCIP（current in the plane）型のスピバルブ型磁気検出素子と呼ぶ。

#### 【0112】

本実施の形態の磁気検出素子は、多層膜32の両側面に接して第1電極層33，33が形成されているため、比抵抗の高い第2反強磁性層35を介さずに直接多層膜32に電流を流せ、電流の損失を低減でき、多層膜32に効率よく直流電流を供給できる。

また、第2フリー磁性層30の上には、第2反強磁性層35が連続成膜されている。

#### 【0113】

第2反強磁性層35は第1反強磁性層23と同様の反強磁性材料で形成されることが好ましい。具体的には第2反強磁性層35は、元素X（ただしXは、Pt，Pd，Ir，Rh，Ru，Osのうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。例えばPtMn合金などで形成される。

#### 【0114】

あるいは本発明では、第2反強磁性層35は、X-Mn-X'合金（ただし元素X'は、Ne，Ar，Kr，Xe，Be，B，C，N，Mg，Al，Si，P，Ti，V，Cr，Fe，Co，Ni，Cu，Zn，Ga，Ge，Zr，Nb，Mo，Ag，Cd，Ir，Sn，Hf，Ta，W，Re，Au，Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である）で形成されてもよい。

#### 【0115】

なお前記元素Xあるいは元素X+X'の組成比は、45（at%）以上60（at%）以下であることが好ましい。

#### 【0116】

図 1 に示すようにフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 上に位置する第 2 反強磁性層 3 5 の中央部 3 5 C には、多層膜 3 2 と膜厚方向（図示 Z 方向）にて対向する位置の上面から前記多層膜 3 2 方向に向けて凹部 3 5 a が形成されている。

## 【 0 1 1 7 】

凹部 3 5 a が形成された位置での第 2 反強磁性層 3 5 の膜厚 H 1 は、例えば、1 0 ～ 5 0 Å である。このように凹部 3 5 a が形成された中央部 3 5 C は、第 2 反強磁性層 3 5 の膜厚 H 1 が非常に薄く形成されており、膜厚 H 1 で形成された第 2 反強磁性層 3 5 とフリー磁性層 3 1 間にはほとんど交換結合磁界が発生しない状態になっている。すなわち、第 2 フリー磁性層 3 0 のトラック幅領域 A 上に設けられた第 2 反強磁性層 3 5 は非反強磁性の性質を有している。従って、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の磁化がトラック幅方向に強固に固定されることが無く、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A は外部磁界（記録信号磁界）によって磁化変動できる程度に弱く磁化された状態になっている。

## 【 0 1 1 8 】

一方、第 2 反強磁性層 3 5 の凹部 3 5 a の両側領域 3 5 s, 3 5 s（中央部 3 5 C の両側領域 3 5 s, 3 5 s）は、8 0 Å ～ 3 0 0 Å の膜厚を有しているため反強磁性の性質を有している。即ち、磁場中アニールによって第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s は規則化変態し、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s とフリー磁性層 3 1（第 2 フリー磁性層 3 0）のトラック幅領域 A の両側領域 B, B 間で適切な大きさの交換結合磁界が発生し、これによって、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B はトラック幅方向に強固に固定された状態になる。

## 【 0 1 1 9 】

また図 1 に示すように、第 2 反強磁性層 3 5 の上には第 2 電極層 3 6, 3 6 が形成されている。第 2 電極層 3 6, 3 6 は例えば、 $\alpha$ -T a、A u、C r、C u（銅）、R h、I r、R u や W（タングステン）などで形成されている。

## 【 0 1 2 0 】

第 2 電極層 3 6, 3 6 は、第 1 電極層 3 3, 3 3 だけでは、十分に直流電流を供給することができないときに補助的に設けられるものである。従って、本発明

において、第2電極層36、36は形成されなくともよい。第2電極層36、36を形成しなければ、前記上下のシールド層間の間隔を小さくして狭ギャップ化を促進することができる。

#### 【0121】

以下に本実施の形態の特徴部分を説明する。

図1の磁気検出素子において、フリー磁性層31は、トラック幅方向寸法W1を有する第1フリー磁性層29上に、第1フリー磁性層29より大きなトラック幅方向寸法W2を有する第2フリー磁性層30が積層されたものである。

#### 【0122】

上記の構成をとることにより、フリー磁性層31の外部磁界によって磁化方向が変動できる領域であるトラック幅領域Aは、第1フリー磁性層29及び第2フリー磁性層30が重ねられた構造となる。また、第2反強磁性層35の両側領域35s、35sの下層には、第1フリー磁性層29と第2フリー磁性層30のうち、第2フリー磁性層30のみが積層されている領域が形成される。

#### 【0123】

すなわち、フリー磁性層31には、第2反強磁性層35と重なる両側領域B、Bに、その膜厚 $t_b$ がトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ より薄くなる領域が存在している。

#### 【0124】

フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚を薄くすると、磁気検出素子の磁界検出感度が向上する。しかし、フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚は少なくとも30Å以上ないと再生波形の不安定性を招いたり、熱揺らぎに起因するノイズが生じやすくなる。

#### 【0125】

本実施の形態では、フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ を維持したまま、第2反強磁性層35の両側領域35s、35sと重なるフリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ を薄くして、第2反強磁性層35とフリー磁性層31の両側領域B、Bの間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることができる。

## 【 0 1 2 6 】

また、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  を薄くすることにより、両側領域 B, B で発生する静磁界を減少させることができる。

## 【 0 1 2 7 】

ここで、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  が、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$  より薄いということは、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$  がフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  より厚いということである。従って、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B で発生する静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。ここで、フリー磁性層 3 1 の不感領域とは、外部磁界を印加しても磁化が変動しにくい領域のことである。

## 【 0 1 2 8 】

なお、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$  は  $70 \text{ \AA}$  より大きくなると、再生感度が低下するので、膜厚  $t_a$  は  $70 \text{ \AA}$  以下であることが好ましい。

## 【 0 1 2 9 】

また、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  が  $10 \text{ \AA}$  より小さくなると、第 2 反強磁性層 3 5 と両側領域 B, B 間の交換結合磁界が小さくなるので、膜厚  $t_b$  は  $10 \text{ \AA}$  以上であることが好ましい。

## 【 0 1 3 0 】

また、第 1 フリー磁性層 2 9 の上に第 2 フリー磁性層 3 0 を積層する構造であると、第 2 フリー磁性層 3 0 と第 2 反強磁性層 3 5 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

## 【 0 1 3 1 】

なお、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  が、 $0.18 \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。本発明の構造を有する第 1 フリー磁性層 2 9 は、トラック幅方向寸法  $W_1$  が  $0.18 \mu\text{m}$  より大きくなるとトラック幅領域 A での縦バイアス磁界が弱くなりすぎて、再生波形の不安定性を引き起こす。

## 【 0 1 3 2 】

なお、より好ましくは、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  が、 $0.15 \mu m$  以下であることである。

## 【 0 1 3 3 】

なお、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 が一体の強磁性層として形成されてもよいし、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 の間に点線で示される非磁性中間層 3 4 が形成されていてもよい。非磁性中間層 3 4 は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu、Au、Pd、Os、Pt のうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成される。特に Cu によって形成されることが好ましい。

## 【 0 1 3 4 】

第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 の間に点線で示される非磁性中間層 3 4 が形成されていても、その膜厚が  $0.2 \text{ \AA} \sim 5 \text{ \AA}$  であるときには、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 は強磁性的に結合し、一体の強磁性層として機能する。

## 【 0 1 3 5 】

なお、第 1 フリー磁性層 2 9 が磁性層の間に非磁性中間層が挟まれた人工フェリフリー構造であってもよい。

## 【 0 1 3 6 】

また、図 1 に示される磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 3 5 の反強磁性を示す両側領域 3 5 s，3 5 s の内側端面 3 5 b，3 5 b 間のトラック幅方向間隔  $W_3$  は、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  以下である。

## 【 0 1 3 7 】

この構成であると、第 2 反強磁性層 3 5 の反強磁性を示す両側領域 3 5 s，3 5 s を第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅領域 A の両側領域 B，B にも重ねることができ、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子になる。

## 【 0 1 3 8 】

なお、図 1 の磁気検出素子ではトラック幅領域 A は、第 2 反強磁性層 3 5 の反強磁性を示す両側領域 3 5 s，3 5 s で挟まれた領域である。従って、光学的ト



トラック幅寸法  $T_w$  は、内側端面 3 5 b, 3 5 b 間のトラック幅方向間隔  $W_3$  に等しくなる。

## 【 0 1 3 9 】

従って、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  は光学的トラック幅寸法  $T_w$  より大きくなっている。

## 【 0 1 4 0 】

図 2 に示される磁気検出素子は、第 2 反強磁性層 3 5 の反強磁性を示す両側領域 3 5 s, 3 5 s の内側端面 3 5 b, 3 5 b 間のトラック幅方向間隔  $W_3$  b が、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  より大きくなっている点でのみ図 1 に示される磁気検出素子と異なっている。

## 【 0 1 4 1 】

図 2 に示される磁気検出素子の第 2 反強磁性層 3 5 以外の各層の材料、形状、膜厚は、図 1 に同じ符号で示された各層と同じであるので説明を省略する。

## 【 0 1 4 2 】

図 2 に示される磁気検出素子ではトラック幅領域 A は、第 1 電極層 3 3, 3 3 の内先端部 3 3 a, 3 3 a で挟まれた領域である。従って、光学的トラック幅寸法  $T_w$  は、内先端部 3 3 a, 3 3 a 間のトラック幅方向間隔  $W_4$  に等しくなる。

## 【 0 1 4 3 】

また、図 2 では、第 1 電極層 3 3, 3 3 の内先端部 3 3 a, 3 3 a 間のトラック幅方向間隔  $W_4$  は、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  に等しくなっている。

## 【 0 1 4 4 】

図 2 に示される磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 3 5 の凹部 3 5 a の両側領域 3 5 s, 3 5 s がトラック幅領域 A から離れている。第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s は反強磁性を示す領域であり、両側領域 3 5 s, 3 5 s と第 2 フリー磁性層 3 0 間に交換結合磁界が発生する。このとき、第 2 フリー磁性層 3 0 の磁化は、両側領域 3 5 s, 3 5 s に重なっている領域よりトラック幅領域 A に近い領域においても固定されることがある。

## 【 0 1 4 5 】

しかし、図 2 に示される磁気検出素子は、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s とトラック幅領域 A の間に間隔が開けられているので、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に不感領域が形成されることを抑制することができ、再生出力を向上できる。

## 【 0 1 4 6 】

図 3 は、本発明における第 3 の実施の形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 4 7 】

図 3 に示される磁気検出素子は、図 1 に示される磁気検出素子と、ギャップ層 2 0、3 7、下地層 2 1、シードレイヤ 2 2、及び第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、及びフリー磁性層 3 1 からなる多層膜 3 2 の形状、材料、膜厚が同じものである。

## 【 0 1 4 8 】

図 3 に示される磁気検出素子と図 1 に示される磁気検出素子は、フリー磁性層 3 1 に縦バイアス磁界を供給する第 2 反強磁性層の構成のみが異なっている。

## 【 0 1 4 9 】

図 3 に示される磁気検出素子は、第 2 フリー磁性層 3 0 上に、第 3 反強磁性層 4 0 を介して一对の第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 がトラック幅方向に間隔をあけて形成されているものである。第 3 反強磁性層 4 0 と第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 の材料は、第 1 反強磁性層 2 3 の材料と同じである。

## 【 0 1 5 0 】

また、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 上に第 2 電極層 4 3, 4 3 が形成されている。この第 2 電極層 4 3, 4 3 は、第 1 電極層 3 3, 3 3 を補助するためのものである。従って、第 2 電極層 4 3, 4 3 は必ずしも形成されなくてもはいけないものではない。

## 【 0 1 5 1 】

図 3 に示す実施形態では、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 上にも第 3 反強磁性層 4 0 が形成されている。しかしトラック幅領域 A 上には第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 は設けられていない。

## 【 0 1 5 2 】

第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚  $H_3$  は 5 Å 以上で 5 0 Å 以下であることが好ましい。より好ましくは 1 0 Å 以上 5 0 Å 以下、さらに好ましくは 3 0 Å 以上で 4 0 Å 以下である。

## 【 0 1 5 3 】

さらに、本実施の形態では、第 3 反強磁性層 4 0 の上に、保護層の機能を有する非磁性中間層 4 1 が積層されているので、製造過程及び製造後における第 3 反強磁性層 4 0 の反強磁性特性の劣化を抑えることができる。そのため、本実施の形態では、第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚  $H_3$  を 5 Å 以上で 5 0 Å 以下、例えば 1 0 Å 程度にすることができるのである。

## 【 0 1 5 4 】

この程度に薄い膜厚で形成されると、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に重なる第 3 反強磁性層 4 0 の中央部 4 0 b は、磁場中アニールによっても規則化変態しにくく、第 3 反強磁性層 4 0 の中央部 4 0 b とフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A との間で交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さい。

## 【 0 1 5 5 】

また第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚を 5 Å 以上としたのは、第 3 反強磁性層 4 0 が薄すぎると、第 3 反強磁性層 4 0 の中央部 4 0 b の両側領域 4 0 a, 4 0 a とフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B 間で発生する交換結合磁界が弱まり、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B を適切にトラック幅方向に磁化固定できないおそれがあるからである。

## 【 0 1 5 6 】

上記したように、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a は、その上に非磁性中間層 4 1 を介して形成された第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 との間で反強磁性的な相互作用が働き、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a と第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 とが一体の反強磁性層のように機能する。しかし物理的には完全に一体化するわけではないので、第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚が薄いとこの第 3 反強磁性層 4 0 の規則化変態は弱く、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a,

4 0 a とフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B 間で生じる交換結合磁界が弱くなる。このため、第 3 反強磁性層 4 0 を 5 Å 以上と設定した。

【 0 1 5 7 】

また第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚を 5 Å 以上で 5 0 Å 以下に設定することで、中央部 4 0 b でのシャントロスを低減でき再生出力を大きくできる。

【 0 1 5 8 】

なお第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a の膜厚と第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 の膜厚を合わせた総合膜厚 H 2 は 8 0 Å 以上で 3 0 0 Å 以下であることが好ましい。これによって第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a は適切に反強磁性の性質を有し、磁場中アニールによって第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a は規則化変態し、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a とフリー磁性層 3 1 (第 2 フリー磁性層 3 0) の両側領域 B, B との間で交換結合磁界が発生し、フリー磁性層 3 1 (第 2 フリー磁性層 3 0) の両側領域 B, B をトラック幅方向に磁化固定することが可能になる。

【 0 1 5 9 】

次に非磁性中間層 4 1 について説明する。前記非磁性中間層 4 1 は、後述する製造方法で説明するように、大気暴露によって第 3 反強磁性層 4 0 が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的役割を有している。

【 0 1 6 0 】

非磁性中間層 4 1 の中央部 4 1 b は、成膜時の膜厚 t 1 がそのまま残されており、一方、非磁性中間層 4 1 の両側領域 4 1 a, 4 1 a は製造工程においてイオンミリングによって削られ、その膜厚 t 2 は、非磁性中間層 4 1 の中央部 4 1 b の膜厚よりも薄くなっている。

【 0 1 6 1 】

非磁性中間層 4 1 の中央部 4 1 b の膜厚 t 1 は、2 Å ~ 1 0 Å、より好ましくは 2 Å ~ 5 Å である。

【 0 1 6 2 】

第 3 反強磁性層 4 0 と第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 との間に介在する非磁性中間層 4 1 の両側領域 4 1 a, 4 1 a の膜厚 t 2 は薄く、0. 2 Å 以上 3 Å 以下で形

成されることが好ましい。また、非磁性中間層 4 1 の両側端部 3 2 a の膜厚が 0 . 2 Å 以上 1 . 0 Å 以下であるとより好ましい。

【 0 1 6 3 】

平均膜厚は、例えば蛍光 X 線分析や断面の透過電子顕微鏡による E D X 分析により測定できる。

【 0 1 6 4 】

非磁性中間層 4 1 の平均膜厚は 1 Å より小さくなることがある。周知のとおり、1 Å とはひとつの原子の直径より小さい寸法に相当するものであり、1 Å より薄い均一な薄膜は存在しない。しかし、元素が不均一に、いいかえるとまばらに存在している薄膜では、元素が存在している領域と元素が存在していない領域が生じる。その結果、非磁性中間層 4 1 の平均膜厚を上記のように定義すると非磁性中間層 4 1 の平均膜厚が 1 Å より小さくなる場合が生じるのである。

【 0 1 6 5 】

非磁性中間層 4 1 が上記の程度に薄く形成されると、第 3 反強磁性層 4 0 と第 2 反強磁性層 4 2、4 2 間に非磁性中間層 4 1 を介して反強磁性的な相互作用が働き、第 3 反強磁性層 4 0 と第 2 反強磁性層 4 2、4 2 とが一体の反強磁性層のように機能しやすくなる。

【 0 1 6 6 】

従って図 3 に示す実施形態は、フリー磁性層 3 1（第 2 フリー磁性層 3 0）の両側領域 B、B 上に反強磁性の性質を有する膜厚の厚い反強磁性層が形成されている形態と類似構成となっており、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B、B の磁化は、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a、4 0 a との間で発生する交換結合磁界によってトラック幅方向（図示 X 方向）に適切に固定される。

【 0 1 6 7 】

非磁性中間層 4 1 は Cr 或いは Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属によって形成されている。

【 0 1 6 8 】

これらの材料は、従来酸化保護膜として用いられてきた Ta 膜に比べて大気暴露によって酸化しにくい材質である。

## 【 0 1 6 9 】

非磁性中間層 4 1 を構成する元素が、R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属で形成されると、製造工程中の熱処理によって、これら貴金属元素が第 3 反強磁性層 4 0 や第 2 反強磁性層 4 2，4 2 に拡散しても、第 3 反強磁性層 4 0 や第 2 反強磁性層の反強磁性の性質は劣化しない。

## 【 0 1 7 0 】

また、非磁性中間層 4 1 が C r で形成されていると、第 3 反強磁性層 4 0 とフリー磁性層 3 1 間で発生する交換結合磁界 (H e x) は、非磁性中間層 4 1 が C r 以外の元素、例えば、R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h のいずれか 1 種または 2 種以上で形成される場合に比べて大きくなる。

## 【 0 1 7 1 】

これは、C r からなる非磁性中間層 4 1 が、第 3 反強磁性層 4 0 上に存在していると、第 3 反強磁性層 4 0 とフリー磁性層 3 1 の界面付近における第 3 反強磁性層 4 0 の規則化変態がより完全に近くなり、その結果、前記界面で発生する交換結合磁界が大きくなるためであると考えられる。

## 【 0 1 7 2 】

なお、非磁性中間層 4 1 を構成する元素は、第 3 反強磁性層 4 0 や第 2 反強磁性層 4 2，4 2 中に拡散している。非磁性中間層 4 1 を構成する元素の拡散は、例えば S I M S 分析装置などによって測定できる。拡散領域では、例えば成膜段階で第 3 反強磁性層 4 0 が P t M n 合金で形成され、非磁性中間層 4 1 が C r で形成されていると、磁場中アニールなどで C r - P t - M n なる合金の拡散層が形成される。

## 【 0 1 7 3 】

なお、本発明には、非磁性中間層 4 1 の中央部 4 1 b のみが存在し、境界面を有する両側領域 4 1 a，4 1 a が存在しない磁気検出素子も含まれるが、このような磁気検出素子の第 3 反強磁性層 4 0 や第 2 反強磁性層 4 2，4 2 中にも、非磁性中間層 4 1 を構成する元素は拡散している。

## 【 0 1 7 4 】

なお、非磁性中間層 4 1 の両側領域 4 1 a, 4 1 a が、好ましくは 0. 2 Å 以上の平均膜厚で残されることにより、第 3 反強磁性層 4 0 がイオンミリングのダメージを受けることがなく、第 3 反強磁性層 4 0 の磁気特性を劣化させるといった問題が生じない。

## 【 0 1 7 5 】

また図 3 のように非磁性中間層 4 1 の両側領域 4 1 a, 4 1 a を 3 Å 以下の非常に薄い膜厚で残すことができるのは、低エネルギーのイオンミリングを使用できるからである。元々、非磁性中間層 4 1 は成膜段階で 2 Å ~ 1 0 Å、より好ましくは 2 Å ~ 5 Å、と薄い膜厚で形成されている。このため低エネルギーのイオンミリングであっても十分に非磁性中間層 4 1 の膜厚調整をすることができ、低エネルギーであるからミリングレートは、高エネルギーの場合に比べて遅く、非磁性中間層 4 1 の途中まで削った段階でミリングを止めるように制御することも比較的簡単に行える。

## 【 0 1 7 6 】

なお、低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が 1 0 0 0 V 未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、1 0 0 0 V ~ 5 0 0 0 V のビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、2 0 0 0 V の低ビーム電圧のアルゴン（A r）イオンビームを用いている。

## 【 0 1 7 7 】

本実施の形態の磁気検出素子も、第 1 フリー磁性層 2 9 の上に第 2 フリー磁性層 3 0 を積層する構造であるため、第 2 フリー磁性層 3 0 と第 3 反強磁性層 4 0 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

## 【 0 1 7 8 】

本実施の形態でも、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$  より、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 と重なるフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  を薄くして、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 とフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることができる。

## 【 0 1 7 9 】

また、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の膜厚  $t_b$  を薄くすることにより、両側領域 B, B で発生する静磁界を減少させることができる。

## 【 0 1 8 0 】

さらに、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B で発生する静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。ここで、フリー磁性層 3 1 の不感領域とは、外部磁界を印加しても磁化が変動しにくい領域のことである。

## 【 0 1 8 1 】

なお、本実施の形態でも、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  は  $0.18 \mu m$  以下であることが好ましい。より好ましくは、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  が、 $0.15 \mu m$  以下であることである。

## 【 0 1 8 2 】

なお、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 が一体の強磁性層として形成されてもよいし、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 の間に点線で示される非磁性中間層 3 4 が形成されていてもよい。

## 【 0 1 8 3 】

また、図 3 に示される磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 のトラック幅方向間隔  $W_5$  は、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  以下である。

## 【 0 1 8 4 】

この構成であると、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅領域 A の両側領域 B, B にも重ねることができ、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子になる。

## 【 0 1 8 5 】

なお、図 3 の磁気検出素子では、トラック幅領域 A は、一対の第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 挟まれた領域である。従って、光学的トラック幅寸法  $T_w$  は、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 の内側端縁 4 2 a, 4 2 a 間のトラック幅方向間隔  $W_5$  に等



しくなる。

【 0 1 8 6 】

従って、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  は光学的トラック幅寸法  $T_w$  より大きくなっている。

【 0 1 8 7 】

図 4 に示される磁気検出素子は、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 のトラック幅方向間隔  $W_5$  が、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  より大きくなっている点でのみ図 3 に示される磁気検出素子と異なっている。

【 0 1 8 8 】

図 3 に示される磁気検出素子の第 2 反強磁性層 4 2、4 2 以外の各層の材料、形状、膜厚は、図 3 に同じ符号で示された各層と同じであるので説明を省略する。

【 0 1 8 9 】

図 4 に示される磁気検出素子ではトラック幅領域 A は、第 1 電極層 3 3、3 3 の内先端部 3 3 a、3 3 a で挟まれた領域である。従って、光学的トラック幅寸法  $T_w$  は、内先端部 3 3 a、3 3 a 間のトラック幅方向間隔  $W_4$  に等しくなる。

【 0 1 9 0 】

また、図 4 では、第 1 電極層 3 3、3 3 の内先端部 3 3 a、3 3 a 間のトラック幅方向間隔  $W_4$  は、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W_1$  に等しくなっている。

【 0 1 9 1 】

図 4 に示される磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 の内側端縁 4 2 a、4 2 a がトラック幅領域 A から離れている。第 2 反強磁性層 4 2、4 2 と第 2 フリー磁性層 3 0 間に交換結合磁界が発生するとき、第 2 フリー磁性層 3 0 の磁化は、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 に重なっている領域よりトラック幅領域 A に近い領域においても固定されることがある。

【 0 1 9 2 】

しかし、図 4 に示される磁気検出素子は、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 の内側端縁 4 2 a、4 2 a とトラック幅領域 A の間に間隔が開けられているので、フリー

磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に不感領域が形成されることを抑制することができる。

【 0 1 9 3 】

図 5 は、本発明における第 3 の実施の形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【 0 1 9 4 】

図 5 に示される磁気検出素子は、図 1 に示される磁気検出素子と、ギャップ層 2 0、3 7、下地層 2 1、シードレイヤ 2 2、及び第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、及びフリー磁性層 3 1 からなる多層膜 3 2 の形状、材料、膜厚が同じものである。

【 0 1 9 5 】

図 5 に示される磁気検出素子と図 1 に示される磁気検出素子は、フリー磁性層 3 1 に縦バイアス磁界を供給する第 2 反強磁性層 5 1、5 1 の構成のみが異なっており、第 2 フリー磁性層 3 0 上に、トラック幅方向に間隔をあけて形成されている一对の強磁性層 5 0 を介して、一对の第 2 反強磁性層 5 1、5 1 が形成されているものである。

【 0 1 9 6 】

本実施の形態では、強磁性層 5 0 の膜厚と第 2 フリー磁性層 3 0 の膜厚の合計膜厚  $t_c$  が、第 1 フリー磁性層 2 9 の膜厚と第 2 フリー磁性層 3 0 の膜厚の合計膜厚  $t_d$  より小さくなっている。

【 0 1 9 7 】

本実施の形態では、強磁性層 5 0、5 0 の内側端面 5 0 a、5 0 a から発生する静磁界がフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に入る込むことがある。

【 0 1 9 8 】

それでも、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_d$  より、第 2 反強磁性層 5 1、5 1 と重なる強磁性層 5 0、5 0 及び第 2 フリー磁性層 3 0 の合計膜厚  $t_c$  を薄くすることができ、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に、両側領域から入り込む静磁界を抑制し、また、第 2 反強磁性層 5 1、5 1 と強磁性層 5 0 間に発生する交換結合磁界を大きくすることができる。

## 【 0 1 9 9 】

さらに、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B、B で発生する静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。ここで、フリー磁性層 3 1 の不感領域とは、外部磁界を印加しても磁化が変動しにくい領域のことである。

## 【 0 2 0 0 】

また、第 2 フリー磁性層 3 0 上の第 2 反強磁性層 5 1、5 1 に挟まれた領域には非磁性中間層 5 2 が存在している。

## 【 0 2 0 1 】

なお、非磁性中間層 5 2 は、第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 の間にも、膜厚  $t_e$  が  $0.2 \text{ \AA} \sim 5 \text{ \AA}$  の範囲内で形成されていてもよい。

## 【 0 2 0 2 】

非磁性中間層 5 2 は、後述する製造方法で説明するように、大気暴露によって第 2 フリー磁性層 3 0 が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的作用を有している。

## 【 0 2 0 3 】

非磁性中間層 5 2 は Cr 或いは Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属によって形成されている。

## 【 0 2 0 4 】

これらの材料は、従来酸化保護膜として用いられてきた Ta 膜に比べて大気暴露によって酸化しにくい材質、あるいは酸化しても酸化が膜厚方向に進行しにくい材質である。

## 【 0 2 0 5 】

第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 の間に形成された非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a、5 2 a の膜厚が  $0.2 \text{ \AA} \sim 5 \text{ \AA}$  の範囲であれば、第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 を一体の強磁性として機能させることができる。

## 【 0 2 0 6 】

あるいは、非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a, 5 2 a の膜厚が  $5 \text{ \AA} \sim 11 \text{ \AA}$  の範囲であれば、第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 が人工フェリ構造となり、第 2 フリー磁性層 3 0 の両側領域 B, B の磁化を強固に固定することができる。

## 【 0 2 0 7 】

ここで、非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a, 5 2 a を、 $3 \text{ \AA}$  以下の非常に薄い膜厚で残すことができるのは、低エネルギーのイオンミリングを使用できるからである。

## 【 0 2 0 8 】

上述した非磁性中間層 5 2 の材料は、酸化されにくい材質、あるいは酸化が膜厚方向に進行しにくい材質であり、非磁性中間層 5 2 の膜厚が薄くても十分な酸化防止効果を発揮する。したがって、磁気検出素子の製造過程で、非磁性中間層 5 2 の表面に酸化層が形成されても、低エネルギーのイオンミリングで酸化層を除去でき、非磁性中間層 5 2 の下層にある第 2 フリー磁性層 3 0 の強磁性特性の劣化を防ぐことができる。

## 【 0 2 0 9 】

本実施の形態の磁気検出素子は、強磁性層 5 0 と第 2 反強磁性層 5 1 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

## 【 0 2 1 0 】

なお、本実施の形態でも、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W1$  は  $0.18 \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。より好ましくは、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W1$  が、 $0.15 \mu\text{m}$  以下であることである。

## 【 0 2 1 1 】

なお、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 が一体の強磁性層として形成されてもよいし、第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 の間に点線で示される非磁性中間層 3 4 が形成されていてもよい。

## 【 0 2 1 2 】

また、図 5 に示される磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 のトラッ

ク幅方向間隔W 6 は、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法W 1 以下である。

#### 【 0 2 1 3 】

この構成であると、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅領域 A の両側領域 B, B にも重ねることができ、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子になる。

#### 【 0 2 1 4 】

なお、図 5 の磁気検出素子では、トラック幅領域 A は、一対の第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 に挟まれた領域である。従って、光学的トラック幅寸法 T w は、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 の内側端縁 5 2 a, 5 2 a 間のトラック幅方向間隔 W 6 に等しくなる。

#### 【 0 2 1 5 】

従って、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 は光学的トラック幅寸法 T w より大きくなっている。

#### 【 0 2 1 6 】

また、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 の内側端縁 5 2 a, 5 2 a がトラック幅領域 A から離れた磁気検出素子であってもよい。この構成であると、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A に不感領域が形成されることを抑制することができる。

#### 【 0 2 1 7 】

このとき、多層膜 3 2 の両側に形成される一対の第 1 電極層 3 3, 3 3 のトラック幅方向間隔で、光学的トラック幅寸法 T w が規定される。

#### 【 0 2 1 8 】

図 1 に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

図 6 に示す工程では、図示しない基板上、あるいは磁性材料からなる下部シールド層上に、下からギャップ層 2 0、下地層 2 1、シードレイヤ 2 2、第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、第 1 フリー磁性層 2 9、非磁性中間層 3 4 を連続成膜する。成膜工程にはスパッタや蒸着が使用される。

#### 【 0 2 1 9 】

ギャップ層 2 0、下地層 2 1、シードレイヤ 2 2、第 1 反強磁性層 2 3、固定

磁性層 2 7、非磁性材料層 2 8、第 1 フリー磁性層 2 9 の材料及び成膜時の膜厚は、図 1 に示される磁気検出素子の同じ符号で示された層の材料及び膜厚と同じであるので説明を省略する。

#### 【 0 2 2 0 】

非磁性中間層 3 4 は、大気暴露によって第 1 フリー磁性層 2 9 が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的役割を有している。

#### 【 0 2 2 1 】

非磁性中間層 3 4 は Cr 或いは Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属によって、2 Å～10 Å、より好ましくは 2 Å～5 Å 程度の非常に薄い膜厚で形成されている。

#### 【 0 2 2 2 】

これらの材料は、従来酸化保護膜として用いられてきた Ta 膜に比べて大気暴露によって酸化しにくい材質あるいは酸化しても酸化が膜厚方向に進行しにくい材質である。

#### 【 0 2 2 3 】

次に、第 1 の磁場中アニールを施す。トラック幅方向（図示 X 方向）と直交する方向である第 1 の磁界（図示 Y 方向）を印加しつつ、第 1 の熱処理温度で熱処理し、第 1 反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 7 を構成する磁性層 2 4 との間に交換結合磁界を発生させて、磁性層 2 4 の磁化を図示 Y 方向に固定する。もう一方の磁性層 2 6 の磁化は、磁性層 2 4 との間で働く RKKY 相互作用による交換結合によって図示 Y 方向とは逆方向に固定される。なお例えば前記第 1 の熱処理温度を 270℃とし、磁界の大きさを 800 k (A/m) とする。

#### 【 0 2 2 4 】

なお、上記アニールによって、非磁性中間層 3 4 を構成する元素は、第 1 フリー磁性層中に拡散する。非磁性中間層 3 4 を構成する元素の拡散は、例えば SIMS 分析装置や透過電子顕微鏡による EDX 分析によって測定できる。

#### 【 0 2 2 5 】

次に図 7 に示す工程では図 6 に示す非磁性中間層 3 4 上にリフトオフ用のレジスト層 R 1 を形成する。

## 【 0 2 2 6 】

そしてレジスト層 R 1 に覆われていない、非磁性中間層 3 4 から第 1 反強磁性層 2 3 までの多層膜 S 1 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側領域をイオンミリングなどで除去する。

## 【 0 2 2 7 】

図 7 に示す工程で、レジスト層 R 1 下に残された多層膜 S 1 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 S 1 a, S 1 a は、下方から上方（第 1 反強磁性層 2 3 側から非磁性中間層 3 4 側）に向うにしたがって、多層膜 S 1 のトラック幅方向への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面となる。

## 【 0 2 2 8 】

なお、レジスト層 R 1 の下に残される多層膜 S 1 中の第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 が所定の寸法になるようにレジスト層 R 1 の大きさを調整する。

## 【 0 2 2 9 】

また図 7 では、多層膜 S 1 の第 1 反強磁性層 2 3 の下側領域 2 3 a、2 3 a は両側端面 S 1 a, S 1 a よりもさらに図示 X 方向に延びて形成されているが、この延出した下側領域 2 3 a も全て除去され、第 1 反強磁性層 2 3 が略台形状で形成されていてもよい。かかる場合は、除去された多層膜 S 1 のトラック幅方向の両側からシードレイヤ 2 2、下地層 2 1 あるいはギャップ層 2 0 のいずれかの層表面が露出する。

## 【 0 2 3 0 】

次に、多層膜 S 1 のトラック幅方向における両側領域に第 1 電極層 3 3, 3 3 を成膜する。前記成膜にはスパッタ法や蒸着法などが使用される。第 1 電極層 3 3, 3 3 は、例えば  $\alpha$ -T a、A u、C r、C u（銅）、R h、I r、R u や W（タングステン）によって形成される。

また第 1 電極層 3 3, 3 3 上面が多層膜 S 1 の上面と同程度の位置となるように第 1 電極層 3 3, 3 3 を成膜する。

## 【 0 2 3 1 】

またの第 1 電極層 3 3, 3 3 成膜時に、第 1 電極層 3 3, 3 3 を構成する導電

性材料 3 3 b がレジスト層 R 1 の周囲にも付着する。そしてリフトオフ用レジスト層 R 1 を除去する。

#### 【 0 2 3 2 】

次に、図 8 工程において、非磁性中間層 3 4 及び第 1 電極層 3 3, 3 3 を表面からイオンミリングで削って、非磁性中間層 3 4 及び第 1 電極層 3 3, 3 3 の表面に形成された酸化層を除去する。このとき、非磁性中間層 3 4 を全部除去してもよいし、0. 2 Å ~ 5 Å の膜厚で残してもよい。なお、非磁性中間層 3 4 を一部残すときには、非磁性中間層 3 4 を Cu によって形成すると、磁気検出素子の抵抗変化率の劣化を防ぐことができるので好ましい。

#### 【 0 2 3 3 】

図 8 に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、非磁性中間層 3 4 が 2 Å ~ 1 0 Å、より好ましくは 2 Å ~ 5 Å 程度の非常に薄い膜厚で形成されており、しかも、非磁性中間層 3 4 の表面に形成される酸化層の膜厚が 3 Å ~ 6 Å 程度と薄い膜厚になるからである。

#### 【 0 2 3 4 】

非磁性中間層 3 4 は上記のような薄い膜厚であっても、第 1 フリー磁性層 2 9 が酸化されるのを十分に防止でき、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性中間層 3 4 の途中または第 1 フリー磁性層 2 9 の上面でミリングを止めるようにミリング制御しやすい。

#### 【 0 2 3 5 】

従って、第 1 フリー磁性層 2 9 の表面がイオンミリング工程で削られることによって、第 1 フリー磁性層 2 9 の強磁性特性が劣化することを防止できる。

#### 【 0 2 3 6 】

なお、低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が 1 0 0 0 V 未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、1 0 0 0 V ~ 5 0 0 0 V のビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、2 0 0 0 V の低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。このように本発明では低エネルギーのイオンミリングを使用でき、従来に比べてミリング制御を向上させることができるのである。



## 【 0 2 3 7 】

また、ミリング時間は 2 0 秒から 4 0 秒程度、ミリング角度は、非磁性中間層 3 4 表面の垂直方向に対し 3 0 ° から 7 0 ° 、好ましくは 4 0 ° から 6 0 ° 傾いた角度で行うことが好ましい。

## 【 0 2 3 8 】

これに対し、非磁性中間層 3 4 として例えば従来よく使われてきた T a を使用すると、T a は大気暴露によって酸化されやすいので、3 0 Å ~ 5 0 Å 程度の厚い膜厚で形成しないと、十分にその下の層を酸化から保護できず、しかも T a は酸化によって体積が大きくなり、非磁性中間層 3 4 の膜厚は約 5 0 Å 以上にまで膨れ上がる。

## 【 0 2 3 9 】

このような厚い膜厚の非磁性中間層 3 4 をイオンミリングで除くには、高エネルギーのイオンミリングが必要となって、非磁性中間層 3 4 のみが除去されるようにミリング制御することは非常に難しくなる。その結果、非磁性中間層 3 4 の下に形成されている第 1 フリー磁性層 2 9 表面も一部削られ、第 1 フリー磁性層 2 9 の強磁性特性が劣化する。

## 【 0 2 4 0 】

非磁性中間層 3 4 及び第 1 電極層 3 3, 3 3 の表面に形成された酸化層を除去した後、図 9 に示す工程では、第 1 フリー磁性層 2 9 上に、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 より大きなトラック幅方向寸法 W 2 を有する第 2 フリー磁性層 3 0 を積層し、さらに第 2 フリー磁性層 3 0 上に第 2 反強磁性層 3 5 を連続成膜する。第 2 反強磁性層 3 5 の膜厚は 8 0 Å 以上で 3 0 0 Å 以下で形成する。第 2 フリー磁性層 3 0、及び第 2 反強磁性層 3 5 の材料は、図 1 に示された磁気検出素子の第 2 フリー磁性層 3 0 及び第 2 反強磁性層 3 5 の材料と同じである。

## 【 0 2 4 1 】

次に、第 2 反強磁性層 3 5 上にトラック幅方向（図示 X 方向）に所定の間隔 W 3 a を開けて例えば無機材料で形成されたマスク層 6 0 を形成する。前記無機材料としては、C r、T a、T i、S i、Z r、N b、M o、H f、W、A l - O

、 $Al-Si-O$ 、 $Si-O$ などを選択できる。このうち金属材料でマスク層 60 を形成する場合には、マスク層 60 を製造工程後においてもそのまま残して第 2 電極層 36、36 として機能させることもできる。

#### 【0242】

マスク層 60 の形成は、例えば第 2 反強磁性層 35 の中央部上にレジスト層（図示しない）を立てておき、その両側をマスク層 60 で埋めた後、前記レジスト層を除去してマスク層 60 に所定幅の間隔  $W3a$  を形成する。あるいは第 2 反強磁性層 35 上全体にマスク層 60 を形成した後、レジスト層（図示しない）をマスク層 60 上に重ねて形成し、前記レジスト層の中央部に露光現像によって穴部を形成した後、この穴部から露出するマスク層 60 を RIE など削って、マスク層 60 に所定幅の間隔  $W3a$  を形成する。

あるいは本発明ではマスク層 60 をレジストで形成してもよい。

#### 【0243】

マスク層 60 の間隔  $W3a$  内から露出する第 2 反強磁性層 35 を RIE やイオンミリングによって削り、凹部 35a（図 1 参照）を形成する。このとき、凹部 35a の底面の下にある第 2 反強磁性層 35 の膜厚を  $5\text{Å} \sim 50\text{Å}$  になるまで削り込むことが好ましい。より好ましくは  $10\text{Å} \sim 50\text{Å}$  である。そうしないと、第 2 反強磁性層 35 の中央部 35C（図 1 参照）が反強磁性の性質を残してしまい、次工程の第 2 磁場中アニールで、第 2 反強磁性層 35 の中央部 35C とフリー磁性層 31 のトラック幅領域 A 間で交換結合磁界が発生し、フリー磁性層 31 のトラック幅領域 A の磁化が強固に固定されてしまう。

#### 【0244】

第 2 反強磁性層 35 は、その表面に対し垂直方向に削り込まれるので、第 2 反強磁性層 35 の内側端面 35b、35b は第 2 反強磁性層 35 の表面に対し垂直方向（図示 Z 方向）に形成される。

#### 【0245】

なお、マスク層 60 の内側端面 60a、60a が傾斜面や湾曲面で形成されている場合、あるいは、ミリングの入射角度を第 2 反強磁性層 35 表面に対し斜め方向にすると、第 2 反強磁性層 35 の内側端面 35b、35b も傾斜面あるいは

湾曲面として形成される。

【 0 2 4 6 】

またどこまで削り込むかは任意であるが、少なくともフリー磁性層 3 1（第 2 フリー磁性層 3 0）のトラック幅領域 A に重なる中央部 3 5 C 上に、反強磁性を帯びる程度の厚い膜厚の反強磁性層を残さないこと、およびフリー磁性層 3 1（第 2 フリー磁性層 3 0）が前記 R I E やイオンミリング工程で削り込まれないようにすることが重要である。フリー磁性層 3 1 がイオンミリング等で削り込まれると、フリー磁性層 3 1（第 2 フリー磁性層 3 0）がミリングによるダメージを受けて磁気特性の劣化を招きやすくなり好ましくない。

【 0 2 4 7 】

上記した R I E やイオンミリング工程が終了した後、第 2 の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示 X 方向）である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第 1 反強磁性層 2 3 のブロック温度よりも低くする。なお前記第 2 の磁界の大きさをフリー磁性層 3 1 の飽和磁界及びフリー磁性層 3 1 の反磁界より大きくすることがより好ましい。これによって第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示 Y 方向）に向けたまま、第 2 反強磁性層 3 5 と第 2 フリー磁性層 3 0 間の交換異方性磁界をトラック幅方向（図示 X 方向）に向けることができる。なお第 2 の熱処理温度は例えば 2 5 0 ℃ であり、磁界の大きさは 2 4 k (A/m) である。

【 0 2 4 8 】

第 2 反強磁性層 3 5 の凹部 3 5 a の両側領域 3 5 s, 3 5 s（図 1 参照）は、イオンミリングによって削られないので 8 0 Å ~ 3 0 0 Å の膜厚を有しており、反強磁性の性質を帯びている。即ち、この第 2 の磁場中アニールによって、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s は規則化変態し、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s とフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B との間に大きな交換結合磁界が発生する。これによってフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の磁化は、トラック幅方向（図示 X 方向）に固定される。

【 0 2 4 9 】

一方、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 上には反強磁性の性質を帯びない程度の薄い膜厚の反強磁性層しか形成されていないから、上記の第 2 の磁場中アニールによっても、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 上に形成された第 2 反強磁性層 3 5 の中央部 3 5 C は規則化変態しない。従って、第 2 反強磁性層 3 5 の中央部 3 5 C とフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 間には交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、前記フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A は外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になる。

#### 【 0 2 5 0 】

なお、絶縁性材料でマスク層 6 0 を形成した場合には、マスク層 6 0 を除去した後、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s, 3 5 s 上に第 2 電極層 3 6, 3 6 を形成する。ただし、第 2 電極層 3 6, 3 6 は必ずしも形成しなくてよい。

#### 【 0 2 5 1 】

上記の製造方法を用いることにより、フリー磁性層 3 1 の第 2 反強磁性層と重なる領域に、その膜厚がトラック幅領域 A の膜厚より薄くなる領域が存在する磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 2 5 2 】

すなわち、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚を維持したまま、フリー磁性層 3 1 の第 2 反強磁性層 3 5 と重なる領域（両側領域）の膜厚を薄くして、第 2 反強磁性層 3 5 との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることのできる磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 2 5 3 】

また、本発明を用いて形成された磁気検出素子は、フリー磁性層 3 1 の両側領域で発生する静磁界を減少させることができる。さらに、静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、トラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

#### 【 0 2 5 4 】

本発明では、第 2 フリー磁性層 3 0 の上に積層される第 2 反強磁性層 3 5 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要

な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

【 0 2 5 5 】

なお、図 9 工程において、マスク層 6 0、6 0 のトラック幅方向間隔を調節することにより、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s、3 5 s の内側端面 3 5 b、3 5 b 間のトラック幅方向間隔  $W 3 a$  を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W 1$  以下にすると、図 1 に示される磁気検出素子のように、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

【 0 2 5 6 】

あるいは、図 9 工程において、マスク層 6 0、6 0 のトラック幅方向間隔を調節することにより、第 2 反強磁性層 3 5 の両側領域 3 5 s、3 5 s の内側端面 3 5 b、3 5 b 間のトラック幅方向間隔  $W 3 b$  を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W 1$  より大きくすると、図 2 に示される磁気検出素子のように、磁界検出感度（再生出力）を向上させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

【 0 2 5 7 】

図 3 及び図 4 に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

図 6 工程から図 8 工程までは、図 3 及び図 4 に示された磁気検出素子の製造方法でも同じである。

【 0 2 5 8 】

非磁性中間層 3 4 及び第 1 電極層 3 3、3 3 の表面に形成された酸化層を除去した後、図 1 0 に示す工程では、第 1 フリー磁性層 2 9 上に、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法  $W 1$  より大きなトラック幅方向寸法  $W 2$  を有する第 2 フリー磁性層 3 0 を積層し、さらに第 2 フリー磁性層 3 0 上に第 3 反強磁性層 4 0 及び非磁性中間層 4 1 を連続成膜する。

【 0 2 5 9 】

第 3 反強磁性層 4 0 は  $5 \text{ \AA}$  以上  $50 \text{ \AA}$  以下の膜厚で形成する。第 3 反強磁性層 4 0 の、より好ましい膜厚は  $10 \text{ \AA}$  以上  $50 \text{ \AA}$  以下であり、さらに好ましい膜厚は  $30 \text{ \AA}$  以上で  $40 \text{ \AA}$  以下である。

【 0 2 6 0 】

非磁性中間層 4 1 の膜厚の好ましい範囲は  $2 \text{ \AA} \sim 10 \text{ \AA}$ 、より好ましくは、2

Å～5 Åである。

【0 2 6 1】

第2フリー磁性層30、第3反強磁性層40、非磁性中間層41の材料は、図3に示された磁気検出素子の第2フリー磁性層30、第3反強磁性層40、非磁性中間層41の材料と同じである。

【0 2 6 2】

上記のように第3反強磁性層40を50 Å以下の薄い膜厚で形成することにより、第3反強磁性層40は非反強磁性の性質を帯びる。このため下記の第2の磁場中アニールを施しても、第3反強磁性層40は規則化変態しにくく、第3反強磁性層40とフリー磁性層31（第2フリー磁性層30）間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、フリー磁性層31の磁化が、固定磁性層27と同じように強固に固定されることがない。

【0 2 6 3】

また第3反強磁性層40が5 Å以上、好ましくは10 Å以上で形成されるとしたのは、この程度の膜厚がないと、後工程で第3反強磁性層40の両側領域40a、40a上に第2反強磁性層42、42を形成しても、第3反強磁性層40の両側領域40a、40aが反強磁性の性質を帯び難く、第3反強磁性層40の両側領域40a、40aとフリー磁性層31の両側領域B、B間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

【0 2 6 4】

非磁性中間層41は、大気暴露によって第3反強磁性層40が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的役割を有している。

【0 2 6 5】

非磁性中間層41はCr 或いはRu、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rhのいずれか1種または2種以上からなる貴金属によって形成されている。

【0 2 6 6】

これらの材料は、従来酸化保護膜として用いられてきたTa膜に比べて大気暴露によって酸化しにくい材質、あるいは、酸化しても酸化が膜厚方向に進行しにくい材質であり、2 Å以上で10 Å以下、より好ましくは2 Å以上5 Å以下とい

う薄い膜厚でも、第3反強磁性層40の酸化を適切に防止できる。

【0267】

なお、非磁性中間層41を構成する元素は、後に示す第2の磁場中アニール工程によって、第3反強磁性層中に拡散する。非磁性中間層41を構成する元素の拡散は、例えばSIMS分析装置や透過電子顕微鏡によるEDX分析によって測定できる。

【0268】

次には非磁性中間層41の上面にレジスト層を形成し、このレジスト層を露光現像することによって図10に示す形状のレジスト層R2を非磁性中間層41上に残す。レジスト層R2は第1フリー磁性層29に重なる領域に形成され、トラック幅方向幅寸法T3の領域を覆っている。レジスト層R2は例えばリフトオフ用のレジスト層である。

【0269】

次にレジスト層R2に覆われていない非磁性中間層41の両側領域41a, 41aを、図10に示す矢印H方向からのイオンミリングで一部削る。

【0270】

本発明では、このイオンミリング工程で、非磁性中間層41の両側領域41a, 41aの膜厚を3Å以下、より好ましくは1.0Å以下にすることが好ましい。この程度にまで非磁性中間層41の両側領域41a, 41aの膜厚を薄くすることで、次工程で、第3反強磁性層40の両側領域40a, 40a上に第2反強磁性層42, 42を形成したとき、第3反強磁性層40の両側領域40a, 40aと第2反強磁性層42, 42間に反強磁性的な相互作用を生じさせ、第3反強磁性層40の両側領域40a, 40aと第2反強磁性層42, 42とを一体の反強磁性層のように機能させることができ、第3反強磁性層40の両側領域40a, 40aに反強磁性の性質を帯びさせることが可能になる。また、第3反強磁性層40の両側領域40a, 40aの表面を保護するために、非磁性中間層41の両側領域41a, 41aを平均膜厚で0.2Å以上残すことが好ましい。ただし、非磁性中間層41を全部除去してもよい。

【0271】

図 1 0 に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、非磁性中間層 4 1 が  $2 \text{ \AA} \sim 10 \text{ \AA}$ 、より好ましくは  $2 \text{ \AA} \sim 5 \text{ \AA}$  程度の非常に薄い膜厚で形成されていること、及び非磁性中間層 4 1 が酸化されにくい材料で形成されているため非磁性中間層 4 1 表面に形成される酸化層の膜厚が  $3 \text{ \AA} \sim 6 \text{ \AA}$  に抑えられるからである。

#### 【 0 2 7 2 】

非磁性中間層 4 1 は上記のような薄い膜厚であっても、第 3 反強磁性層 4 0 が酸化されるのを十分に防止でき、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性中間層 3 4 の途中または第 3 反強磁性層 4 0 の上面でミリングを止めるようにミリング制御しやすい。

#### 【 0 2 7 3 】

従って、第 3 反強磁性層 4 0 の表面がイオンミリング工程で削られることによって、第 3 反強磁性層 4 0 の反強磁性特性が劣化することを防止できる。これにより第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a とその上に形成される第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 間で発生する反強磁性的な相互作用を強め、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a と第 2 フリー磁性層 3 0 の両側領域 3 0 a, 3 0 a 間で発生する交換結合磁界を強めることができることが確認されている。

#### 【 0 2 7 4 】

なお、低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が  $1000 \text{ V}$  未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、 $100 \text{ V} \sim 500 \text{ V}$  のビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、 $200 \text{ V}$  の低ビーム電圧のアルゴン (Ar) イオンビームを用いている。このように本発明では低エネルギーのイオンミリングを使用でき、従来に比べてミリング制御を向上させることができるのである。

#### 【 0 2 7 5 】

また、ミリング時間は  $20 \text{ 秒}$  から  $40 \text{ 秒}$  程度、ミリング角度は、非磁性中間層 4 1 表面の垂直方向に対し  $30^\circ$  から  $70^\circ$ 、好ましくは  $40^\circ$  から  $60^\circ$  傾いた角度で行うことが好ましい。

#### 【 0 2 7 6 】



これに対し、非磁性中間層 4 1 として例えば従来よく使われてきた T a を使用すると、高エネルギーのイオンミリングが必要となって、非磁性中間層 4 1 のみが除去されるようにミリング制御することは非常に難しくなる。その結果、非磁性中間層 4 1 の下に形成されている第 3 反強磁性層 4 0 表面も一部削られ、第 3 反強磁性層の反強磁性特性が劣化する。

## 【 0 2 7 7 】

次に図 1 1 工程を施す。図 1 1 工程では、非磁性中間層 4 1 の両側領域 4 1 a , 4 1 a 上に第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 、第 2 電極層 4 3 , 4 3 を連続成膜する。成膜にはスパッタや蒸着法を使用できる。成膜された第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の内側端面 4 2 a , 4 2 a 及び第 2 電極層 4 3 , 4 3 の内側端面 4 3 a , 4 3 a は、下面から上面に向うにしたがって（図示 Z 方向）、徐々に第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 間の間隔が広がる傾斜面あるいは湾曲面で形成される。

なお、第 2 電極層 4 3 , 4 3 は形成されなくてもよい。

## 【 0 2 7 8 】

またこの実施形態では第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の下面間の間隔（= W 5 ）でトラック幅寸法 T w が規定される。

## 【 0 2 7 9 】

第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 に使用される材質は、第 3 反強磁性層 4 0 に使用される反強磁性材料と同じものであることが好ましい。

## 【 0 2 8 0 】

また図 1 1 に示す工程では、第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 と、その下に形成されている第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a , 4 0 a とを足した総合膜厚が 8 0 Å 以上で 3 0 0 Å 以下の厚い膜厚となるように、第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の膜厚を調整することが好ましい。

## 【 0 2 8 1 】

第 3 反強磁性層 4 0 の膜厚と第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の膜厚とを足した総合膜厚が 8 0 Å 以上で 3 0 0 Å 以下程度の厚い膜厚で形成されると、単独では反強磁性の性質を有さなかった第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a , 4 0 a が反強磁性の性質を帯びるからである。

## 【 0 2 8 2 】

図 1 1 に示すように第 2 電極層 4 3, 4 3 まで積層形成した後、第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 を構成する元素からなる反強磁性材料の膜 4 2 b 及び第 2 電極層 4 3, 4 3 を構成する元素からなる電極材料の膜 4 3 b が付着した前記レジスト層 R 2 をリフトオフで除去する。

## 【 0 2 8 3 】

次に第 2 の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示 X 方向）である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、前記第 1 反強磁性層 2 3 のブロック温度よりも低くする。なお前記第 2 の印加磁界の大きさをフリー磁性層 3 1 の飽和磁界及びフリー磁性層 3 1 の反磁界より大きくすることがより好ましい。これによって第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示 Y 方向）に向けたまま、第 3 反強磁性層 4 0 とフリー磁性層 3 1 間に働く交換異方性磁界をトラック幅方向（図示 X 方向）に向けることができる。なお第 2 の熱処理温度は例えば 2 5 0 °C であり、磁界の大きさは 2 4 k (A/m) である。

## 【 0 2 8 4 】

上記のように第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a 上に非磁性中間層 4 1 を介して第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 が形成されることで、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a と第 2 反強磁性層 4 2, 4 2 間の反強磁性的な相互作用が強まり、単独では反強磁性の性質を有さなかった第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a が反強磁性の性質を帯びる。

## 【 0 2 8 5 】

すなわち、上記の第 2 の磁場中アニールによって、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a は適切に規則化変態し、第 3 反強磁性層 4 0 の両側領域 4 0 a, 4 0 a とフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B との間に適切な大きさの交換結合磁界が発生する。これによってフリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の磁化は、トラック幅方向（図示 X 方向）に固定される。

## 【 0 2 8 6 】

一方、上記の第 2 の磁場中アニールによっても、その上に第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 が積層されない第 3 反強磁性層 4 0 の中央部 4 0 b とフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 間には交換結合磁界が発生せずあるいはその値は小さく、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の磁化は外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になる。

## 【 0 2 8 7 】

また上記の第 2 の磁場中アニールで、非磁性中間層 4 1 を構成する元素が、第 3 反強磁性層 4 0、さらに第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 内部に拡散するものと考えられる。従って熱処理後における第 3 反強磁性層 4 0 及び第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の構成元素は、反強磁性層を構成する元素と非磁性中間層 4 1 を構成する元素とから構成される。また第 3 反強磁性層 4 0 及び第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 内部に拡散した非磁性中間層 4 1 を構成する元素は、第 3 反強磁性層 4 0 の下面側よりも第 3 反強磁性層 4 0 の表面側の方が多く、第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の表面側よりも下面側の方が多い。拡散した非磁性中間層を構成する元素の組成比は、第 3 反強磁性層 4 0 の表面から下面に向うに従って、及び第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 の下面から表面に向うにしたがって従って徐々に減るものと考えられる。このような組成変調は、S I M S 分析装置や透過電子顕微鏡による E D X 分析などで確認することが可能である。

## 【 0 2 8 8 】

上記の製造方法を用いることにより、フリー磁性層 3 1 の、第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 と重なる領域（両側領域 B, B）に、その膜厚がトラック幅領域 A の膜厚より薄くなる領域が存在する磁気検出素子を製造できる。

## 【 0 2 8 9 】

すなわち、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚を維持したまま、フリー磁性層 3 1 の第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 と重なる領域（両側領域 B, B）の膜厚を薄くして、第 2 反強磁性層 4 2 , 4 2 との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることのできる磁気検出素子を製造できる。

## 【 0 2 9 0 】

また、本発明を用いて形成された磁気検出素子は、フリー磁性層 3 1 の両側領域で発生する静磁界を減少させることができる。さらに、静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、トラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

#### 【 0 2 9 1 】

また、本発明では、第 2 フリー磁性層 3 0 の上に第 3 反強磁性層 4 0 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

#### 【 0 2 9 2 】

なお、図 1 1 工程では、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 のトラック幅方向間隔 W 5 を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 以下にして、図 3 に示される磁気検出素子のように、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 2 9 3 】

あるいは、図 1 0 工程において、レジスト層 R 2 よりも大きなトラック幅方向寸法 T 4 の領域を覆うレジスト層 R 3 を形成することにより、第 2 反強磁性層 4 2、4 2 のトラック幅方向間隔 W 5 を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 より大きくすると、図 4 に示される磁気検出素子のように、磁界検出感度（再生出力）を向上させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 2 9 4 】

図 5 に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

図 6 工程から図 8 工程までは、図 5 に示された磁気検出素子の製造方法でも同じである。

#### 【 0 2 9 5 】

図 8 工程で非磁性中間層 3 4 及び第 1 電極層 3 3、3 3 の表面に形成された酸化層を除去した後、図 1 2 に示されるように、第 1 フリー磁性層 2 9 上に、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 より大きなトラック幅方向寸法 W 2 を有する第 2 フリー磁性層 3 0 を積層し、さらに第 2 フリー磁性層 3 0 上に連続

して非磁性中間層 5 2 を連続成膜する。

【 0 2 9 6 】

非磁性中間層 5 2 は、大気暴露によって第 2 フリー磁性層 3 0 が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的役割を有している。

【 0 2 9 7 】

非磁性中間層 5 2 は C r 或いは R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h、C u のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属によって形成されている。

【 0 2 9 8 】

これらの材料は、従来酸化保護膜として用いられてきた T a 膜に比べて大気暴露によって酸化しにくい材質かあるいは酸化しても酸化が膜厚方向に進行しにくい材質であり、2 Å 以上で 1 0 Å 以下、より好ましくは 2 Å 以上 5 Å 以下という薄い膜厚でも、第 2 フリー磁性層 3 0 の酸化を適切に防止できる。

【 0 2 9 9 】

次に、非磁性中間層 5 2 の上面にレジスト層を形成し、このレジスト層を露光現像することによって図 1 2 に示す形状のレジスト層 R 4 を非磁性中間層 5 2 上に残す。レジスト層 R 4 は第 1 フリー磁性層 2 9 に重なる領域に形成され、トラック幅方向幅寸法 T 5 の領域を覆っている。レジスト層 R 5 は例えばリフトオフ用のレジスト層である。

【 0 3 0 0 】

次にレジスト層 R 5 に覆われていない非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a、5 2 a を、図 1 0 に示す矢印 I 方向からのイオンミリングで一部削る。図 1 2 に示すイオンミリング工程でも、前述した低エネルギーのイオンミリングを使用する。

【 0 3 0 1 】

本発明では、このイオンミリング工程で、非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a、5 2 a の膜厚を 3 Å 以下、より好ましくは 1. 0 Å 以下にすることが好ましい。

なお、第 2 フリー磁性層 3 0 の表面がけずられて、磁性特性が劣化することを防止するために非磁性中間層 5 2 を 0. 2 μ m 以上残すことが好ましい。

## 【 0 3 0 2 】

ただし、図 1 2 に示すイオンミリング工程でも、前述した低エネルギーのイオンミリングを使用できるので、非磁性中間層 5 2 を完全に除去して、なおかつ第 2 フリー磁性層 3 0 の磁性特性劣化を抑制できるように、第 2 フリー磁性層 3 0 の上面でミリング工程を停止することもできる。

## 【 0 3 0 3 】

また、ミリング時間は 2 0 秒から 4 0 秒程度、ミリング角度は、非磁性中間層 5 2 の表面の垂直方向に対し  $30^{\circ}$  から  $70^{\circ}$ 、好ましくは  $40^{\circ}$  から  $60^{\circ}$  傾いた角度で行うことが好ましい。

## 【 0 3 0 4 】

次に図 1 3 工程を施す。図 1 3 工程では、非磁性中間層 5 2 の両側領域 5 2 a、5 2 a 上に強磁性層 5 0、5 0 及び第 2 反強磁性層 5 1、5 1 を連続成膜する。成膜にはスパッタや蒸着法を使用できる。成膜された強磁性層 5 0、5 0 の内側端面 5 0 a、5 0 a、第 2 反強磁性層 5 1、5 1 の内側端面 5 1 a、5 1 a は、下面から上面に向うにしたがって（図示 Z 方向）、徐々に第 2 反強磁性層 5 1、5 1 間の間隔が広がる傾斜面あるいは湾曲面で形成される。

## 【 0 3 0 5 】

なお、本実施の形態では、強磁性層 5 0 の膜厚と第 2 フリー磁性層 3 0 の膜厚の合計膜厚  $t_c$  が、第 1 フリー磁性層 2 9 の膜厚と第 2 フリー磁性層 3 0 の膜厚の合計膜厚  $t_d$  より小さくなるようにする。

## 【 0 3 0 6 】

また、第 2 反強磁性層 5 1、5 1 上に、図 3 に示される磁気検出素子と同様の第 2 電極層が形成されてもよい。

## 【 0 3 0 7 】

またこの実施形態では第 2 反強磁性層 5 1、5 1 の下面間の間隔（=  $W_6$ ）でトラック幅寸法  $T_w$  が規定される。

## 【 0 3 0 8 】

第 2 反強磁性層 5 1、5 1 に使用される材質は、第 1 反強磁性層 2 3 に使用される反強磁性材料と同じものであることが好ましい。

## 【 0 3 0 9 】

また図 1 1 に示す工程では、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 の膜厚を 8 0 Å 以上で 3 0 0 Å 以下の厚い膜厚とすることにより、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 が反強磁性の性質を帯びるようにできる。

## 【 0 3 1 0 】

第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 まで積層形成した後、強磁性層 5 0, 5 0 を構成する元素からなる強磁性材料からなる膜 5 0 b 及び第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 を構成する元素からなる反強磁性材料の膜 5 1 b が付着したレジスト層 R 4 をリフトオフで除去する。

## 【 0 3 1 1 】

次に第 2 の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示 X 方向）である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、前記第 1 反強磁性層 2 3 のブロッキング温度よりも低くする。なお前記第 2 の磁界の大きさをフリー磁性層 3 1 の飽和磁界及びフリー磁性層 3 1 の反磁界より大きくすることがより好ましい。これによって第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示 Y 方向）に向けたまま、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 と強磁性層 5 0, 5 0 間に働く交換異方性磁界をトラック幅方向（図示 X 方向）に向けることができる。なお第 2 の熱処理温度は例えば 2 5 0 °C であり、磁界の大きさは 2 4 k (A/m) である。

## 【 0 3 1 2 】

ここで、第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 の間に非磁性中間層 5 2 が存在しないか、或いは存在したとしてもその膜厚（非磁性中間層 5 2 の強磁性層 5 0, 5 0 に重なる両側領域 5 2 a, 5 2 a の膜厚）が 0. 2 Å ~ 5 Å の範囲であれば、第 2 フリー磁性層 3 0 と強磁性層 5 0 を一体の強磁性として機能させることができる。このとき、フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B の磁化は、強磁性層 5 0, 5 0 の磁化方向と同じ方向、例えばトラック幅方向（図示 X 方向）に固定される。

## 【 0 3 1 3 】

あるいは、第2フリー磁性層30と強磁性層50の間に存在する非磁性中間層52の膜厚（非磁性中間層52の両側領域52a，52aの膜厚）が5Å～11Åの範囲であれば、第2フリー磁性層30と強磁性層50が人工フェリ構造をとり、第2フリー磁性層30の両側領域B，Bの磁化が強固に固定される。

#### 【0314】

一方、第2反強磁性層51，51及び強磁性層50，50に重なる両側領域B，Bに挟まれた、フリー磁性層31のトラック幅領域Aの磁化は外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になる。

#### 【0315】

また上記の第2の磁場中アニールで、非磁性中間層52を構成する元素が、強磁性層50，50、さらに第2反強磁性層51，51内部に拡散するものと考えられる。従って熱処理後における強磁性層50，50及び第2反強磁性層51，51の構成元素は、反強磁性層を構成する元素と非磁性中間層52を構成する元素とから構成される。また強磁性層50，50及び第2反強磁性層51，51内部に拡散した非磁性中間層52を構成する元素は、強磁性層50，50の表面側よりも強磁性層50，50の下面側の方が多く、第2反強磁性層51，51の表面側よりも下面側の方が多い。拡散した非磁性中間層52を構成する元素の組成比は、強磁性層50，50の下面から表面に向うに従って、及び第2反強磁性層51，51の下面から表面に向うにしたがって従って徐々に減るものと考えられる。このような組成変調は、SIMS分析装置や透過電子顕微鏡によるEDX分析などで確認することが可能である。

#### 【0316】

本実施の形態の製造方法によっても、フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚を維持したまま、フリー磁性層31の第2反強磁性層51，51と重なる領域（両側領域B，B）の膜厚を薄くして、第2反強磁性層51，51との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることのできる磁気検出素子を製造できる。

#### 【0317】

また、本発明を用いて形成された磁気検出素子は、フリー磁性層31の両側領



域で発生する静磁界を減少させることができる。さらに、静磁界に由来するフリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A 内の磁束密度を減少させることができ、トラック幅領域 A に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

#### 【 0 3 1 8 】

本発明では、強磁性層 5 0, 5 0 の上に第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

#### 【 0 3 1 9 】

なお、図 1 3 工程では、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 のトラック幅方向間隔 W 6 を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 以下にして、図 3 に示される磁気検出素子のように、サイドリーディングを減少させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 3 2 0 】

あるいは、図 1 2 工程において、レジスト層 R 4 よりも大きなトラック幅方向寸法の領域を覆うレジスト層を形成することにより、第 2 反強磁性層 5 1, 5 1 のトラック幅方向間隔を、第 1 フリー磁性層 2 9 のトラック幅方向寸法 W 1 より大きくすると、磁界検出感度（再生出力）を向上させるのに適した磁気検出素子を製造できる。

#### 【 0 3 2 1 】

##### 【実施例】

図 1 と同様の磁気検出素子を製造し、 $\left[ \left( \text{フリー磁性層 3 1 の両側領域 B, B での膜厚 } t_b \text{ からフリー磁性層のトラック幅領域 A の膜厚 } t_a \text{ を引いた値} \right) / \text{フリー磁性層のトラック幅領域 A の膜厚 } t_a \right] \times 100 (\%)$ （なお以下では単に「比率」と称す）と再生出力との関係を調べた。

#### 【 0 3 2 2 】

実験に使用した磁気検出素子は、フリー磁性層 3 1 のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$ （第 1 フリー磁性層 2 9 と第 2 フリー磁性層 3 0 の合計膜厚）が 5 0 Å であり、トラック幅寸法  $T_w$  は 0. 2  $\mu\text{m}$  であり、MR ハイト（図 1 に示す磁気検出

素子の図示Y方向の長さ)は、 $0.15\mu\text{m}$ であった。またフリー磁性層31を構成する第1フリー磁性層29と第2フリー磁性層30にはCoFe合金及びNiFe合金を使用し、フリー磁性層31の単位面積当たりの磁気モーメントは、 $4.84(\text{T}\cdot\text{nm})$ であった。実験では、フリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ を変化させて、前記比率と再生出力との関係を調べた。結果を図14に示す。

#### 【0323】

フリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ とトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ が等しいときの再生出力は $1.5\text{mV}$ である。ここで、従来の磁気検出素子のように、フリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ をトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ より厚くすると、すなわち、前記比率を正の値にすると(比較例)、再生出力は小さくなる。

#### 【0324】

一方、本発明のように、フリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ をトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ より薄くすると、すなわち、前記比率を負の値にすると(実施例)、再生出力が大きくなることがわかった。

#### 【0325】

なお、フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ は $50\text{\AA}$ より大きくなると、再生感度が低下するので、膜厚 $t_a$ は $50\text{\AA}$ 以下であることが好ましい。

#### 【0326】

また、フリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ が $10\text{\AA}$ より小さくなると、第2反強磁性層35と両側領域B、B間の交換結合磁界が小さくなるので、膜厚 $t_b$ は $10\text{\AA}$ 以上であることが好ましい。

#### 【0327】

従って、前記比率の下限値を $-80\%$ とし、前記比率の好ましい範囲を $-80\%$ 以上で0よりも小さい範囲内と設定した。

#### 【0328】

以上本発明をその好ましい実施例に関して述べたが、本発明の範囲から逸脱しない範囲で様々な変更を加えることができる。

【 0 3 2 9 】

なお、上述した実施例はあくまでも例示であり、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

【 0 3 3 0 】

【発明の効果】

以上詳細に説明した、本発明では、前記フリー磁性層のトラック幅領域の膜厚を維持したまま、前記フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と重なる領域（両側領域）の膜厚を薄くして、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界を大きくでき、サイドリーディングを減少させることができる。

【 0 3 3 1 】

また、前記フリー磁性層の両側領域の膜厚を薄くすることにより、前記両側領域で発生する静磁界を減少させることができる。

【 0 3 3 2 】

また、本発明では、前記フリー磁性層の両側領域で発生する静磁界に由来する前記フリー磁性層のトラック幅領域内の磁束密度を減少させることができ、前記トラック幅領域に発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

【 0 3 3 3 】

また、本発明のように、前記第 1 フリー磁性層の上に前記第 2 フリー磁性層を積層する構造であると、前記第 2 フリー磁性層、または前記第 2 フリー磁性層の上に積層された強磁性層と、その上に積層される反強磁性層を連続成膜することが可能になり、サイドリーディングを十分に低減するために必要な交換結合磁界を発生させることが容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 2】

本発明の第 2 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側か

ら見た部分断面図、

【図 3】

本発明の第 3 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 4】

本発明の第 4 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 5】

本発明の第 5 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 6】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 7】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 8】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 9】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 0】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 1】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 2】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 3】

本発明の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 1 4】

フリー磁性層 3 1 の両側領域 B、B での膜厚  $t_b$  とフリー磁性層のトラック幅領域 A の膜厚  $t_a$  を変化させたときの再生出力の変化を示すグラフ、

【図 1 5】

従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 1 6】

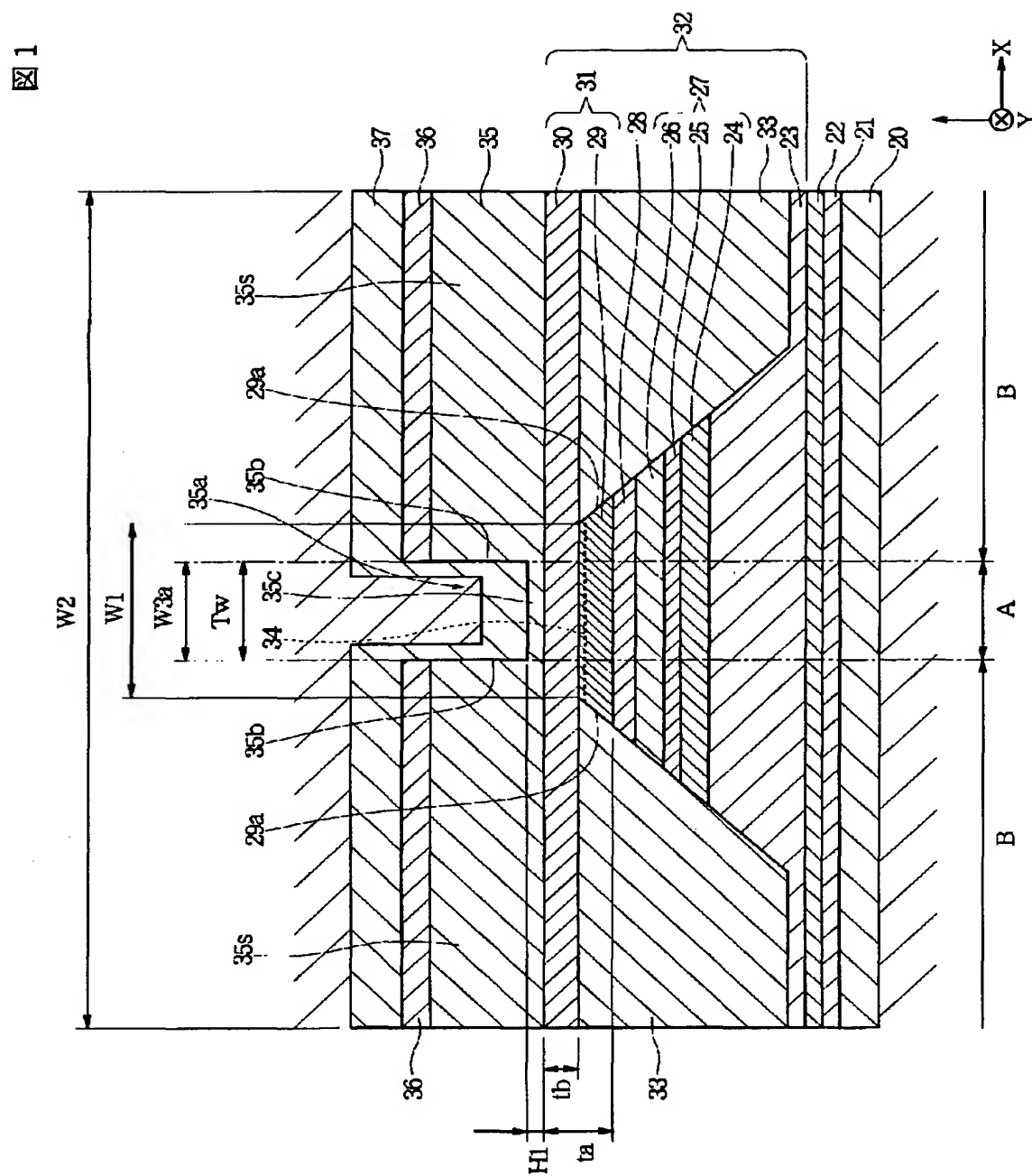
従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【符号の説明】

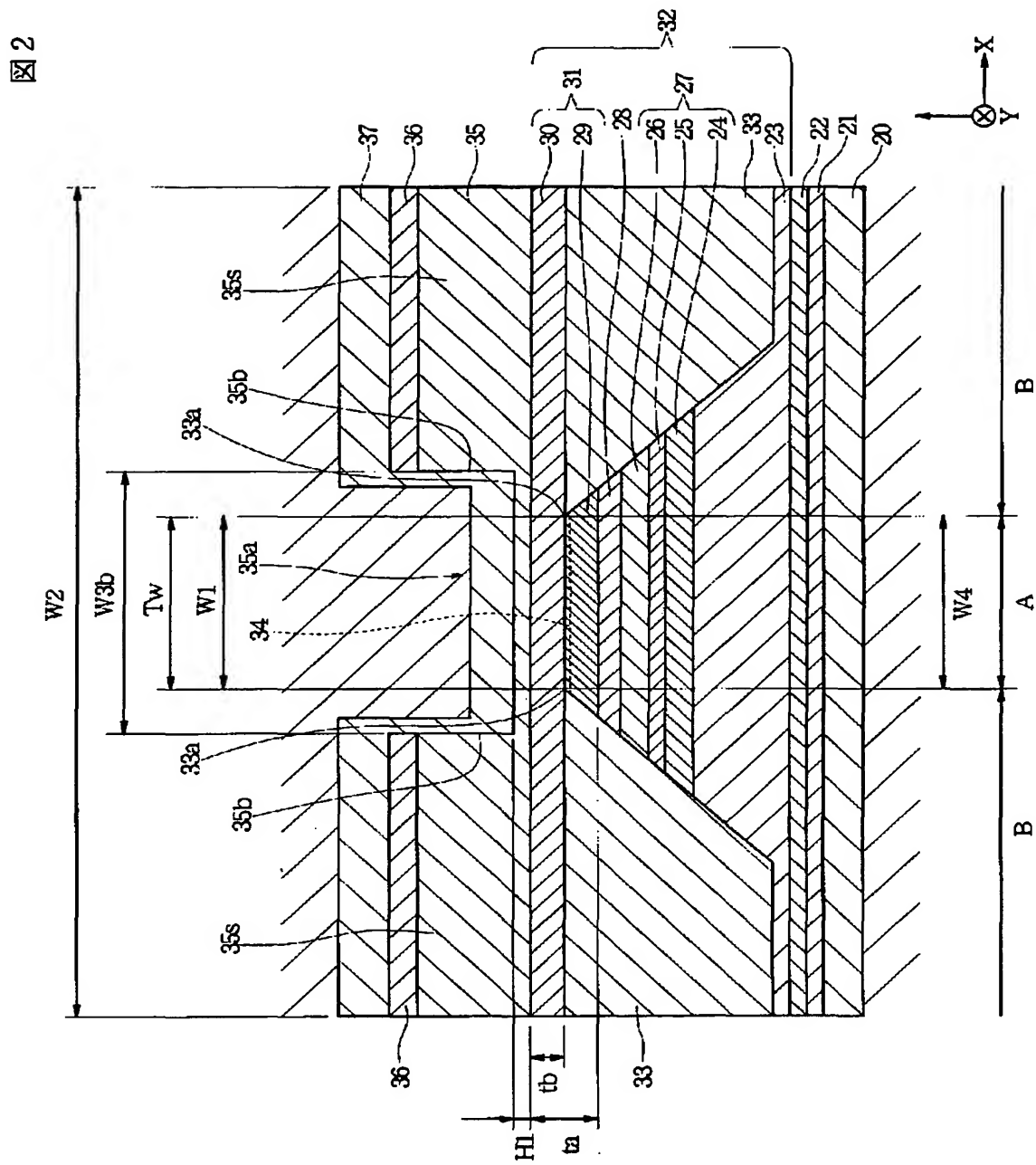
- 2 0    ギャップ層
- 2 3    第 1 反強磁性層
- 2 7    固定磁性層
- 2 8    非磁性材料層
- 2 9    第 1 フリー磁性層
- 3 0    第 2 フリー磁性層
- 3 1    フリー磁性層
- 3 2    多層膜
- 3 3    第 1 電極層
- 3 4、4 1、5 2    非磁性中間層
- 3 5、4 2、5 1    第 2 反強磁性層
- 4 0    第 3 反強磁性層
- 5 0    強磁性層

【書類名】 図面

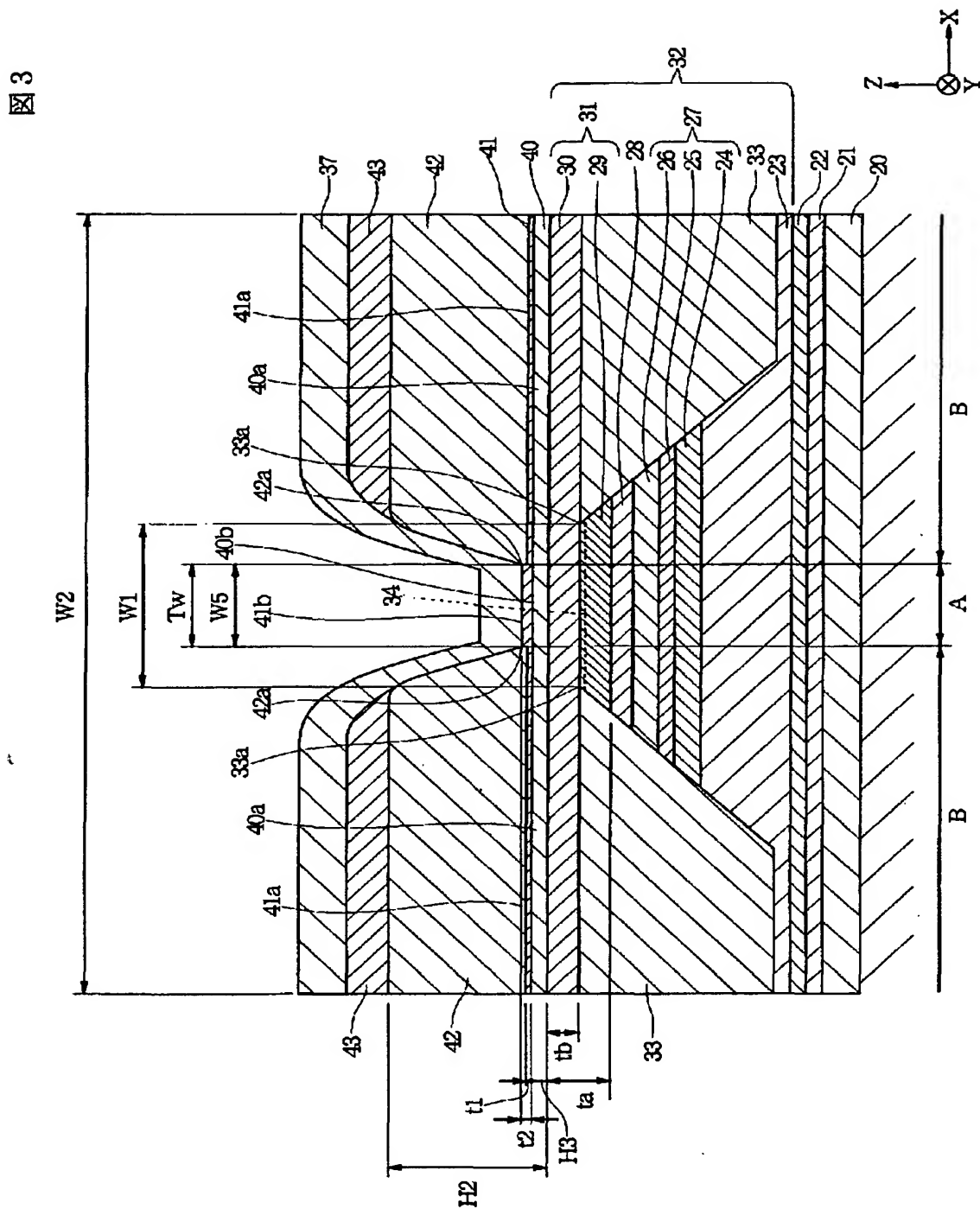
【図 1】



【図 2】



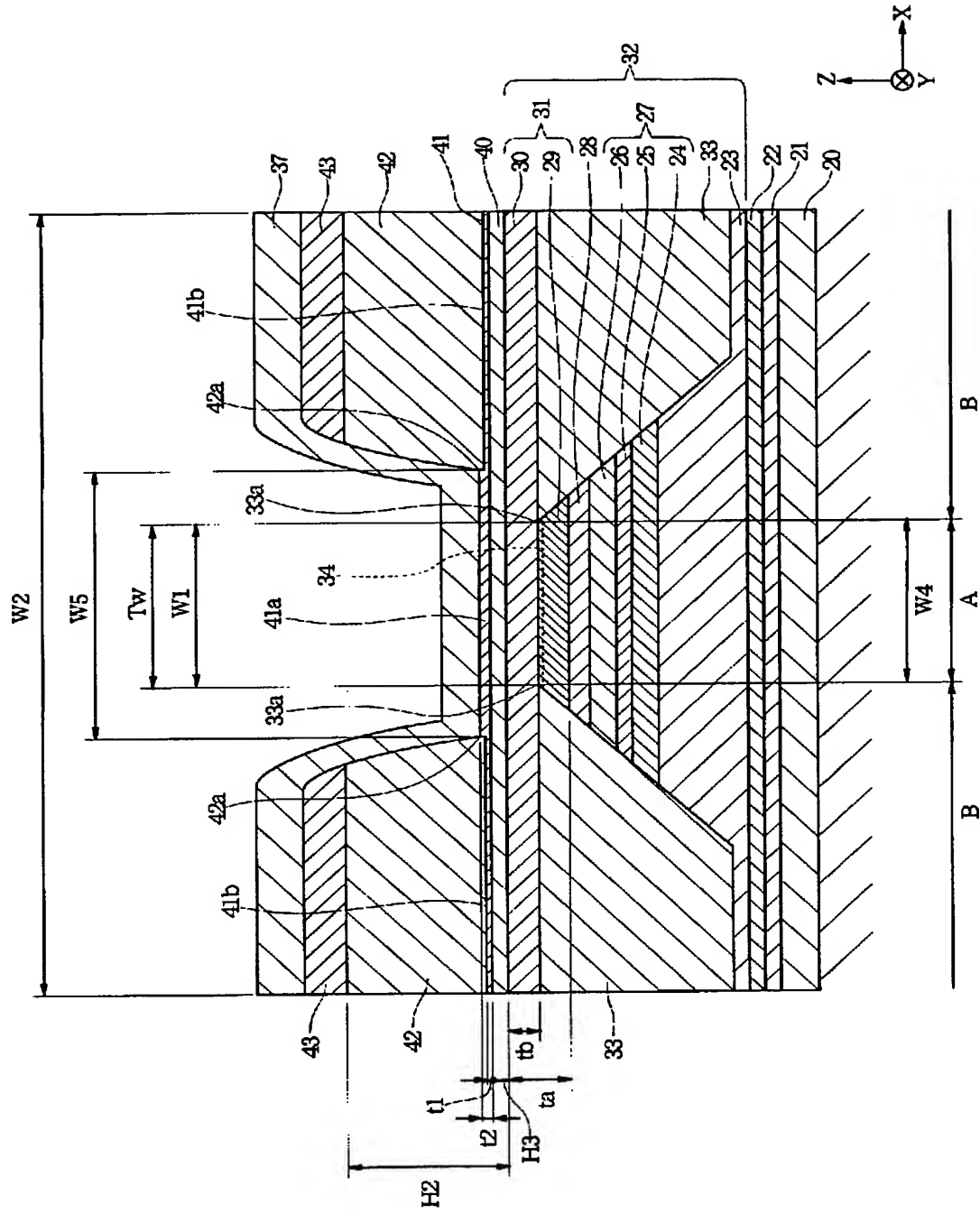
【図 3】



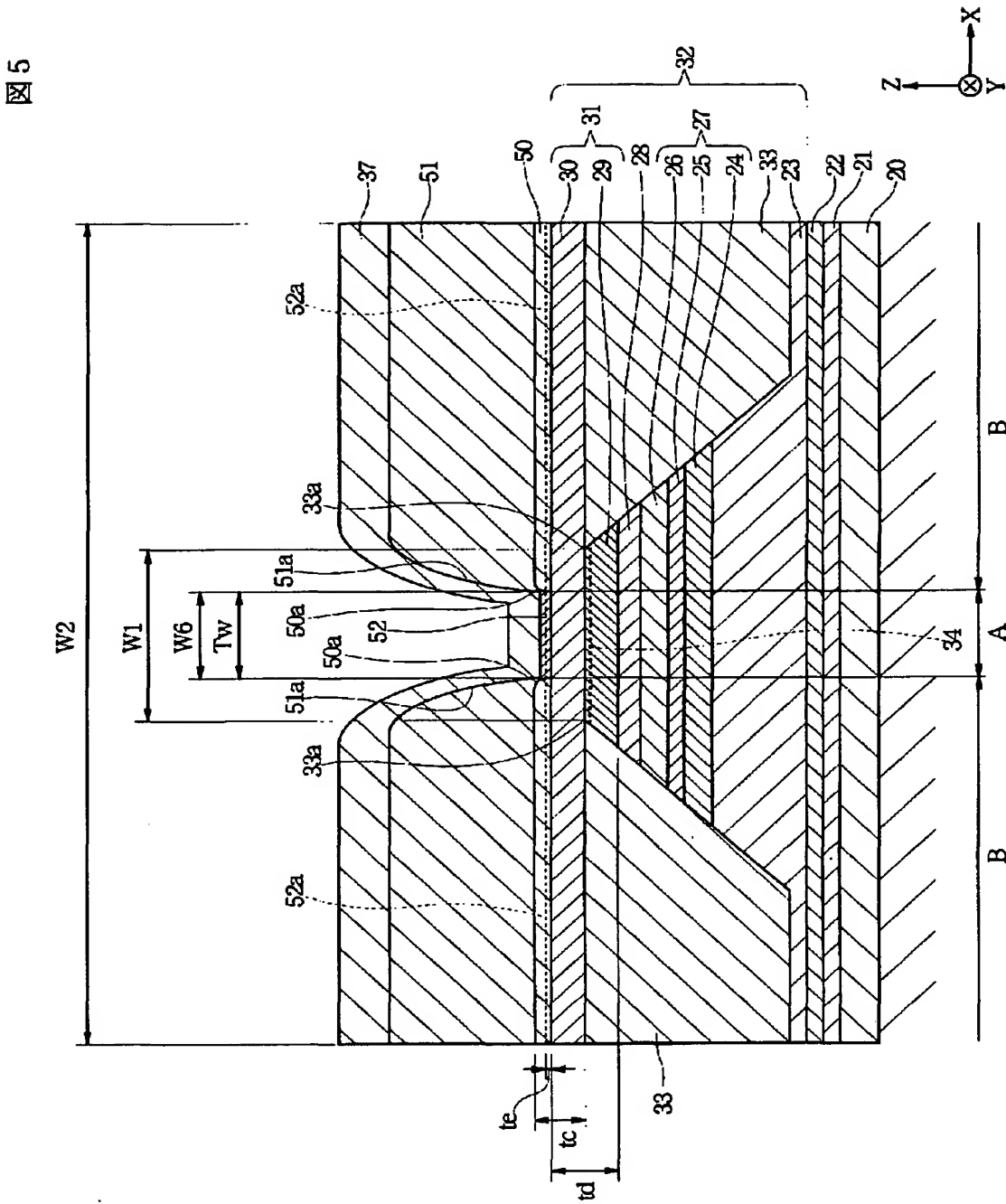


【図 4】

図 4

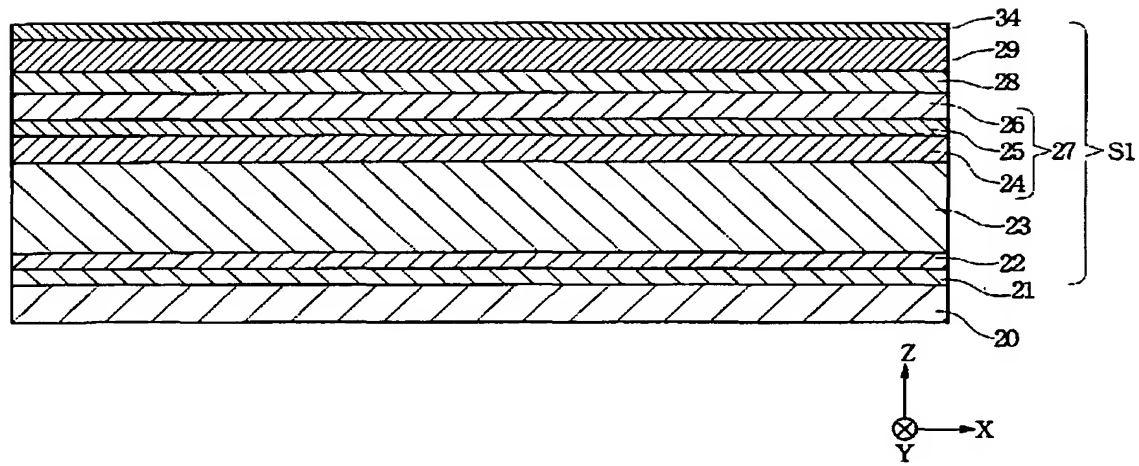


【図 5】



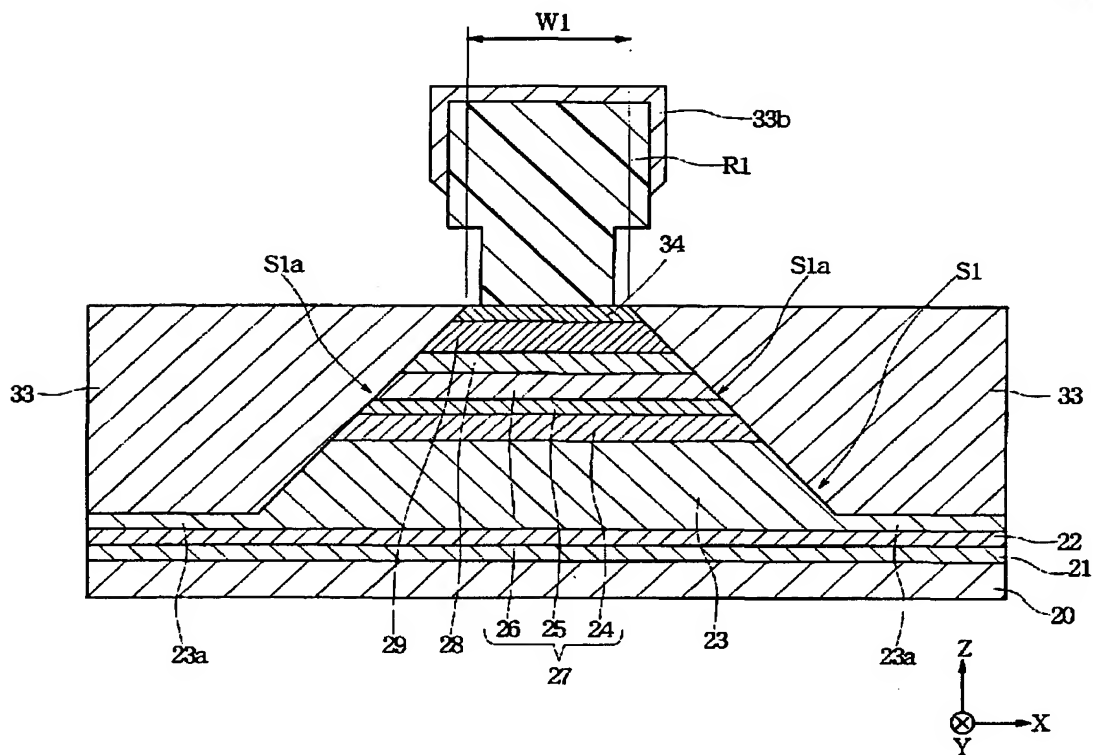
【図 6】

図 6



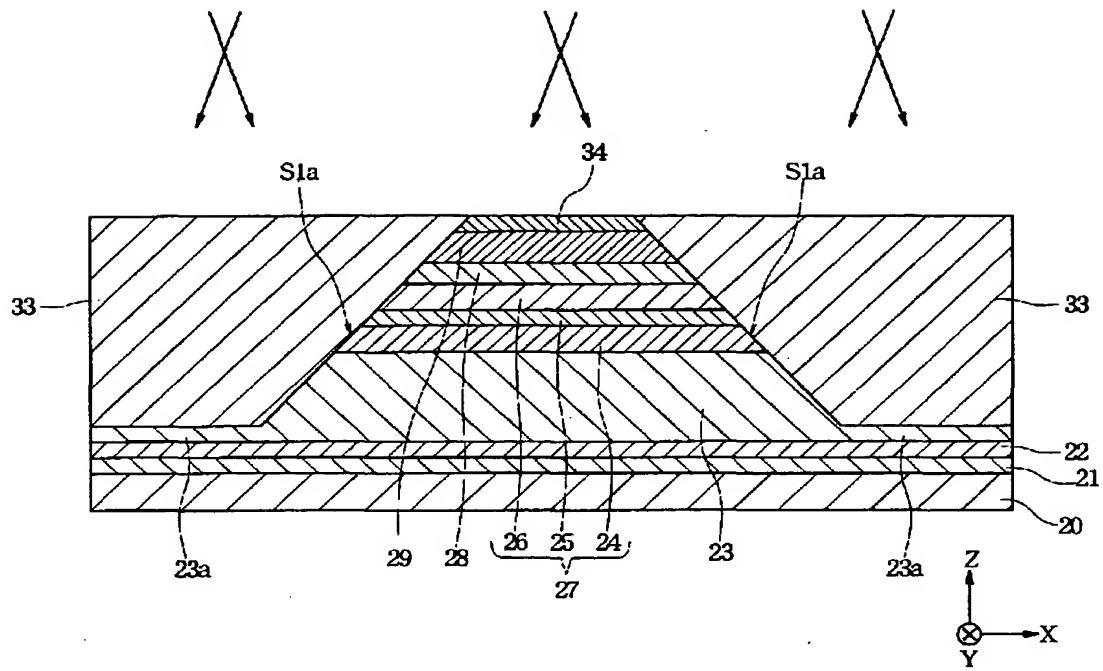
【図 7】

図 7

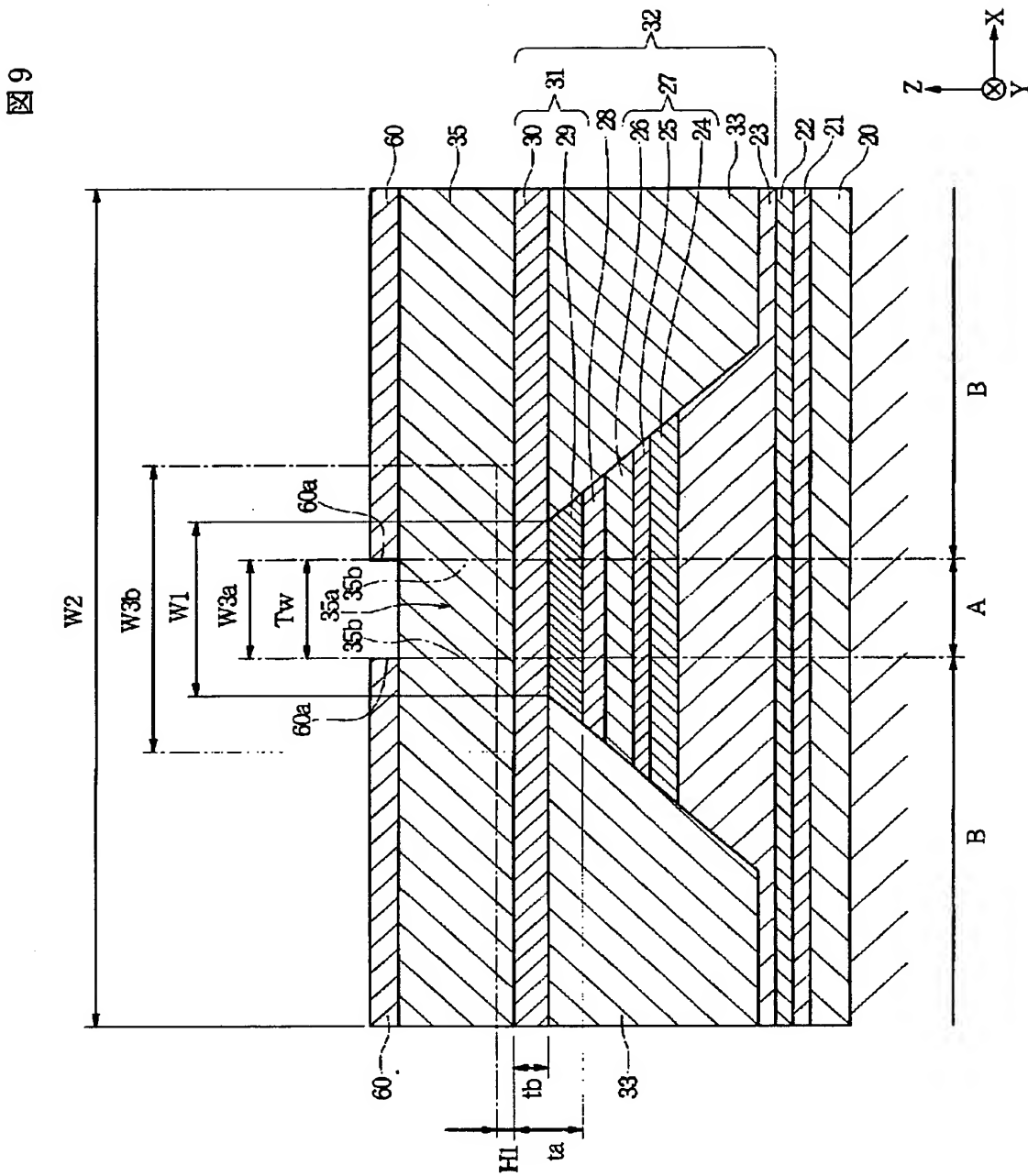


【図 8】

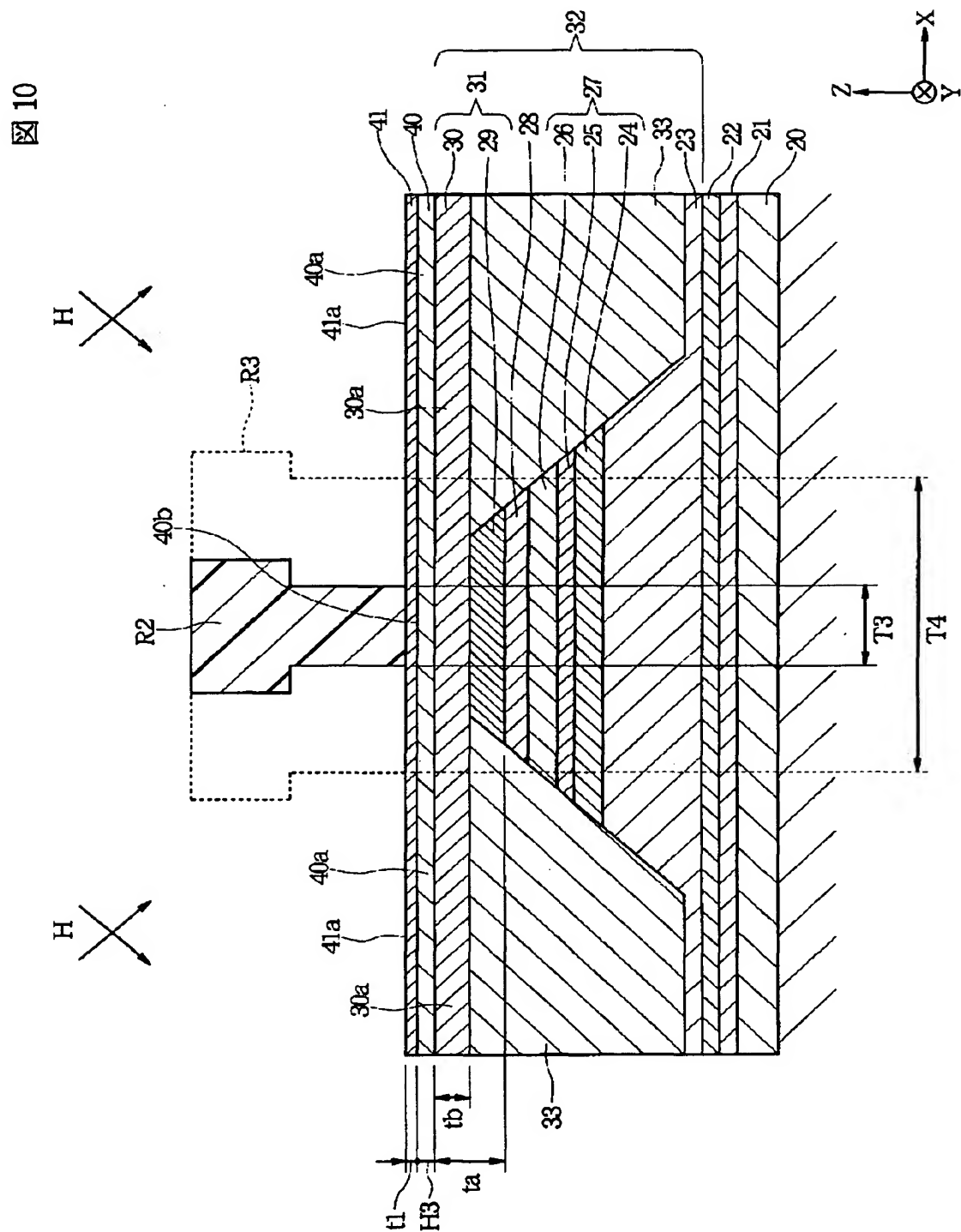
図 8



【図9】

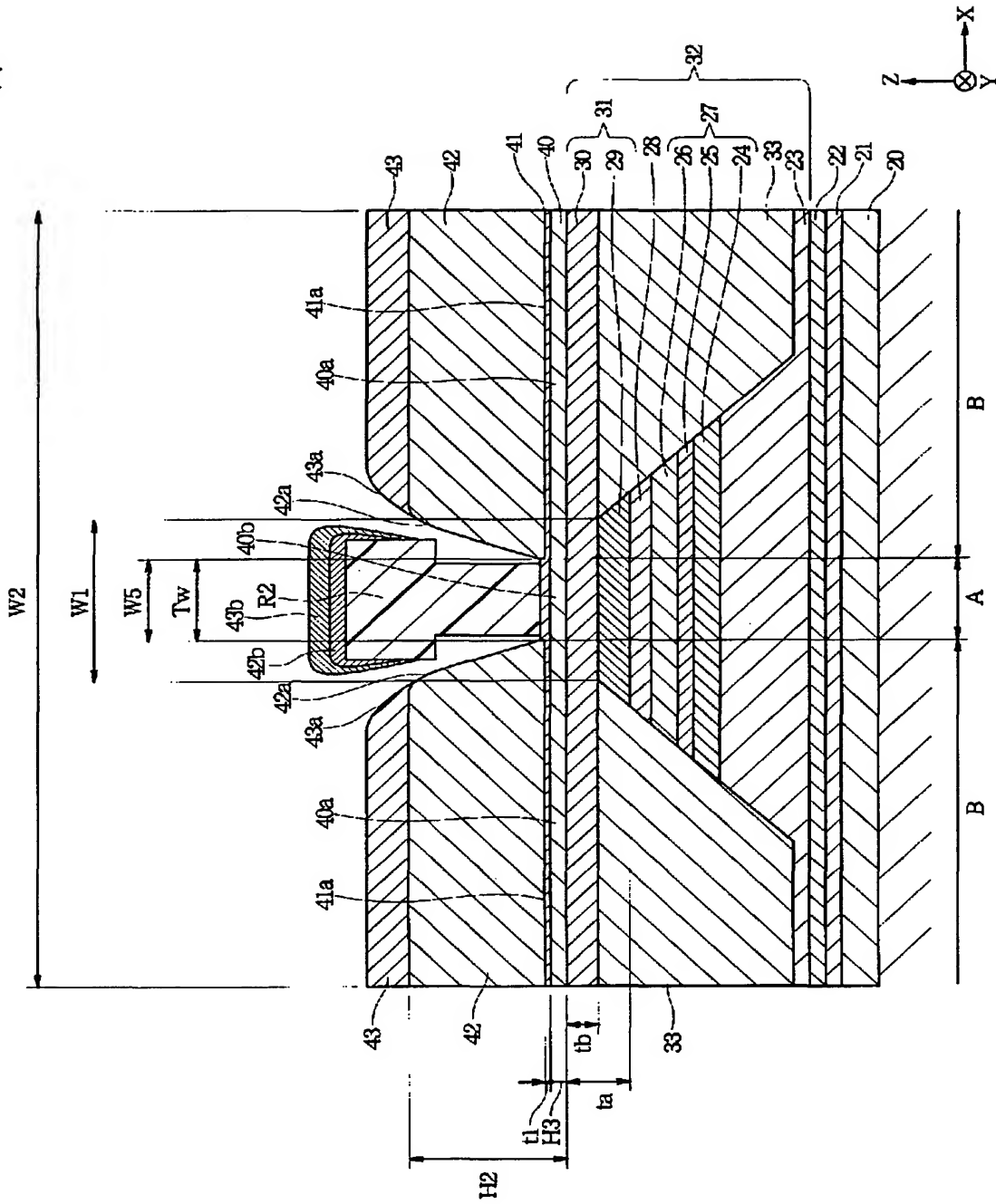


【図 10】

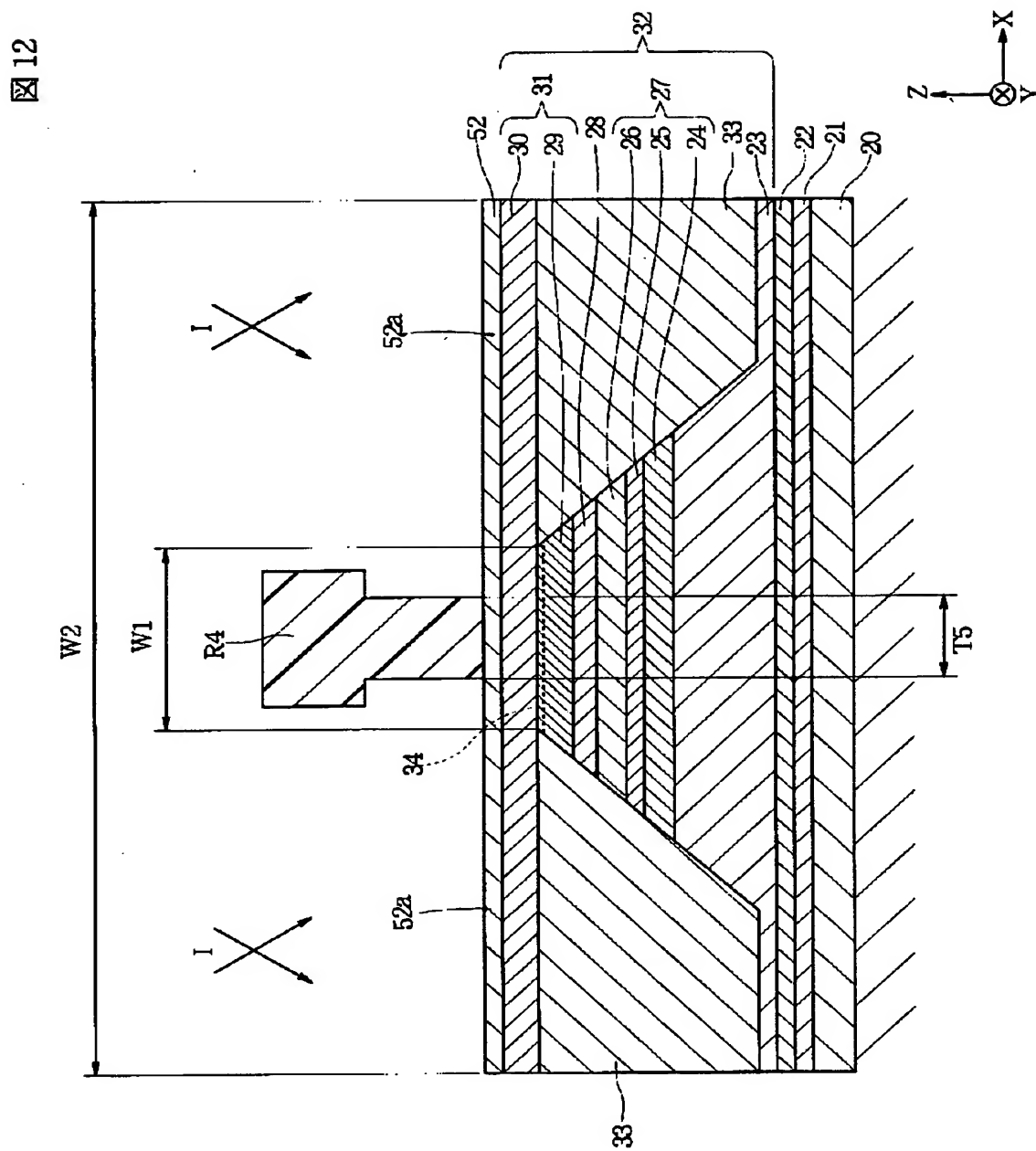


【图 11】

图 11



【図 12】







【図 14】

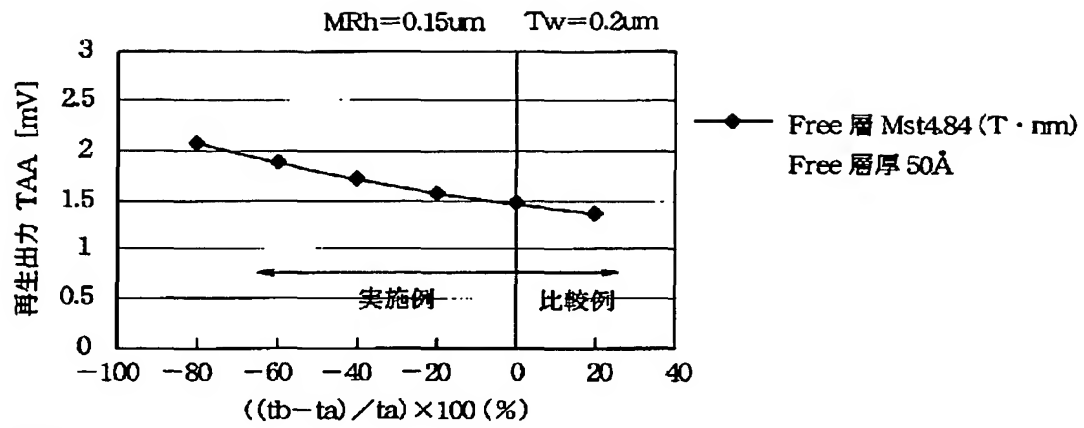


図 14

【図 15】

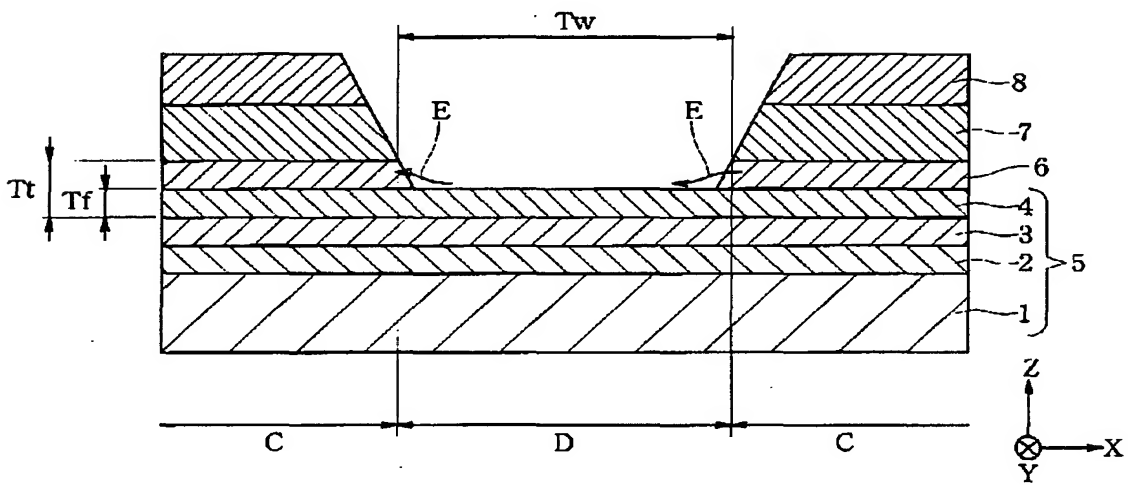
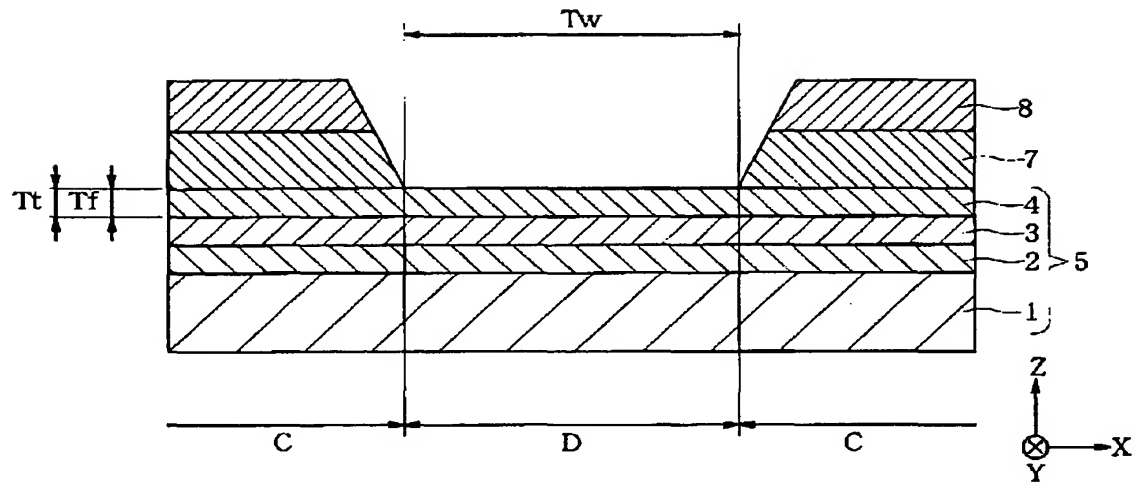


図 15

【図 1 6】

図 16



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 狭トラック幅化を進めたときに、フリー磁性層の磁化を変動しやすくして、磁界検出感度を向上させることのできる磁気検出素子を提供する。

【解決手段】

トラック幅方向寸法 $W_1$ を有する第1フリー磁性層29上に、第1フリー磁性層29より大きなトラック幅方向寸法 $W_2$ を有する第2フリー磁性層30を積層する。フリー磁性層31のトラック幅領域Aの膜厚 $t_a$ をフリー磁性層31の両側領域B、Bの膜厚 $t_b$ より厚くして、フリー磁性層31の両側領域B、Bで発生する静磁界に由来するフリー磁性層31のトラック幅領域A内の磁束密度を減少させることができ、フリー磁性層31のトラック幅領域Aに発生する不感領域を低減することができるので、磁界検出感度が向上する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 1 0 0 9 8 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 7 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号  
氏 名 アルプス電気株式会社